



TUGAS AKHIR – SF 141501

Optimasi *Furnace* Turbular Suhu Tinggi berbasis Kontrol PID

**Rahersa Putra
NRP 01111340000002**

**Dosen Pembimbing
Diky Anggoro, M.Si
Iim Fatimah, M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



TUGAS AKHIR – SF 141501

**Optimasi *Furnace* Turbular Suhu Tinggi
berbasis Kontrol PID**

**Rahersa Putra
NRP 01111340000002**

**Dosen Pembimbing
Diky Anggoro, M.Si
Iim Fatimah, M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT – SF 141501

***FURNACE OPTIMIZATION TURBULAR HIGH
TEMPERATURE BASED ON PID CONTROL***

**Rahersa Putra
NRP 0111134000002**

**Advisor
Diky Anggoro, M.Si
Iim Fatimah, M.Si**

**DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF SCIENCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI *FURNACE* TURBULAR SUHU TINGGI BERBASIS KONTROL PID

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Tugas
Akhir Program Strata 1

Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
RAHERSA PUTRA
01111340000002

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. **Diky Anggoro, M.Si**
(NIP.19850809 201404.1.003)

(.....)

2. **Iim Fatimah, M.Si**
(NIP.19870108 201504.2.002)

(.....)



OPTIMASI *FURNACE* TURBULAR SUHU TINGGI BERBASIS KONTROL PID

Nama Mahasiswa : Rahersa Putra
NRP : 01111340000002
Departemen : Fisika, FIA - ITS
Dosen Pembimbing : 1. Diky Anggoro, M.Si
2. Iim Fatimah, M.Si

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan optimasi *furnace* dengan sistem kontrol PID pada suhu 200°C, 300°C dan 400°C. Optimasi dilakukan untuk menghasilkan respon sistem yang cepat dan kestabilan yang baik. Metodologi percobaan menggunakan Metode Ziegler-Nichols dan Metode Tyreus-Luyben dengan melakukan percobaan tes kontrol proporsional sampai didapatkan osilasi sistem secara periodik. Inputan Kp yang menghasilkan osilasi sistem secara periodik untuk menentukan nilai Ku dan Pu yang berguna untuk mendapatkan variabel kontrol PID dengan menggunakan perhitungan pada tetapan masing-masing metode. Didapatkan variabel kontrol PID terbaik untuk suhu 200°C untuk masing-masing blok 1 Kp=0,12 Ti=66 Td=16,6. Untuk PID blok 2 Kp=0,28 Ti=396 Td=28,5. Untuk PID blok 3 Kp=0,18 Ti=46,2 Td=3,3. Variabel kontrol PID terbaik suhu 300°C untuk masing-masing blok 1 Kp=0,48 Ti=11 Td=2,75. Untuk PID blok 2 Kp=0,48 Ti=160 Td=40. Untuk PID blok 3 Kp=0,54 Ti=53 Td=3,8. Variabel kontrol PID terbaik suhu 400°C untuk PID blok 1 Kp=0,24 Ti=38 Td=95. Untuk PID blok 2 Kp=0,12 Ti=106,5 Td=26,6. Untuk PID blok 3 Kp=0,24 Ti=38 Td=9,5.

Kata Kunci : PID, Metode Tyreu-Luyben, Metode Ziegler-Nichols

FURNACE OPTIMIZATION TURBULAR HIGH TEMPERATURE BASED ON PID CONTROL

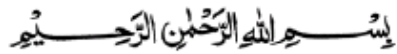
Name : Rahersa Putra
NRP : 01111340000002
Department : Physics, Faculty of Sciences - ITS
Advisor : 1. Diky Anggoro, M.Si
2. Iim Fatimah, M.Si

Abstract

In this research, *furnace* optimization with PID control sistem was done at 200°C, 300°C and 400°C. Optimization is done to produce a fast sistem response and good stability. The experimental methodology used the Ziegler-Nichols Method and the Tyreus-Luyben Method by experimenting proportional control tests until sistemic oscillation was obtained periodikally. The Kp input generates periodik oscillations of the sistem to determine the value of Ku and Pu which is useful for obtaining PID control variabels by using the calculations on the respective method constants. Obtained the best PID control variabel for temperature 2000C for each block 1 Kp = 0.12 Ti = 66 Td = 16,6. For PID block 2 Kp = 0.28 Ti = 396 Td = 28.5. For PID block 3 Kp = 0.18 Ti = 46.2 Td = 3.3. The best PID control variabel is 3000C for each block 1 Kp = 0.48 Ti = 11 Td = 2.75. For PID block 2 Kp = 0.48 Ti = 160 Td = 40. For PID block 3 Kp = 0.54 Ti = 53 Td = 3.8. The best PID control variabel is temperature 4000C for PID block 1 Kp = 0.24 Ti = 38 Td = 95. For PID block 2 Kp = 0.12 Ti = 106,5 Td = 26.6. For PID block 3 Kp = 0.24 Ti = 38 Td = 9.5.

Key words: *PID, Tyreu-Luyben Method, Ziegler-Nichols Method*

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya, petunjukNya atas nikmat iman, islam, dan ikhsan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**OPTIMASI FURNACE TURBULAR SUHU TINGGI BERBASIS KONTROL PID**” dengan optimal dan tepat waktu. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua kandung tercinta yaitu Bapak Sahilal Alimin dan Ibu Hermawati Amsar yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis sejak kecil hingga sampai saat ini serta atas seluruh kasih sayang, dukungan moril materi dan segalanya, doa, dan motivasi yang diberikan kepada penulis.
2. Kedua Saudaraku tersayang Satria Frido, Ruki Ramadhani atas dukungan doa dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis.
3. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng selaku Kepala Departemen Fisika ITS beserta jajarannya.
4. Bapak Diky Anggoro, M.Si selaku Ketua Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi sekaligus Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membagi pengalaman, memberikan pengarahan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
5. Ibu Iim Fatimah, M.Si selaku Dosen Pembimbing memberikan dukungan, saran dan motivasinya pada pengerjaan penelitian ini.

6. Kepada semua staff dan karyawan yang bekerja di Departemen Fisika ITS yang telah memberikan motivasi dan memberikan nasihat kepada penulis.
7. Erik, Baskoro, Mas Soleh, Badri, Tito, Bekti, Gede dan semua yang telah memberi dukungan dan memberi semangat dengan caranya masing-masing “matur suwun rek”.
8. Member Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, teman-teman SUPERNOVA yang telah memberi dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
9. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat berguna dan dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang Fisika Instrumentasi dan Elektronika. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, 18 Juli 2018

Penulis

Rahersa Putra

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	I
COVER PAGE	II
LEMBAR PENGESAHAN.....	III
ABSTRAK.....	IV
ABSTRACT	V
KATA PENGANTAR	VI
DAFTAR ISI	VIII
DAFTAR GAMBAR	X
DAFTAR TABEL.....	XII
DAFTAR LAMPIRAN	XIV
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Furnace</i>	5
2.2 Termokopel	7
2.2.1 Jenis-jenis Termokopel.....	8
2.3 Kontrol PID.....	9
2.4 Metode Tuning PID.....	11
2.4.1 Metode Ziegler-Nichols (Z-N)	12
2.4.2 Metode Tyreus-Luyben (T-L)	14
BAB III.....	15
METODOLOGI	15
3.1 Diagram Alir	15
3.2 Rancang Bangun <i>Furnace</i>	16
3.3 Alat dan Bahan	19
3.3.1 Alat Pemanas (<i>Furnace</i>).....	19

3.3.2	Termokopel Tipe R.....	19
3.3.3	Elemen Pemanas.....	20
3.3.4	Insulating Brick C1.....	21
3.3.5	Rockwool.....	21
3.3.6	Kontrol PID	22
3.3.7	Solid Stade Relay	23
3.4	Metodologi.....	24
3.4.1	Percobaan Variasi dan Pemilihan Kp	25
3.4.2	Pembuktian Perhitungan Metode.....	25
3.5	Analisa Data.....	25
BAB IV	27
	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1	Analisa Respon Sistem Pada T=200⁰C.....	27
4.1.1	PID Blok 1 T=200 ⁰ C	27
4.1.2	PID Blok 2 T=200 ⁰ C	31
4.1.3	PID Blok 3 T=200 ⁰ C	34
4.2	Analisa Respon Sistem Pada T=300⁰C.....	37
4.2.1	PID Blok 1 T=300 ⁰ C	37
4.2.2	PID Blok 2 T=300 ⁰ C	40
4.2.3	PID Blok 3 T=300 ⁰ C	43
4.3	Analisa Respon Sistem Pada T=400⁰C.....	46
4.3.1	PID Blok 1 T=400 ⁰ C	46
4.3.2	PID Blok 2 T=400 ⁰ C	49
4.3.3	PID Blok 3 T=400 ⁰ C	52
4.4	Pembahasan	55
BAB V	63
	KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran.....	64
	DAFTAR PUSTAKA	65
	LAMPIRAN	67
	BIODATA PENULIS	113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perbedaan P, PI Dan Controller PID	10
Gambar 2. 2 Respon loop terurup dengan kontrol P	12
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	15
Gambar 3. 2 Rancang Bangun <i>Furnace</i>	16
Gambar 3. 3 Rangkaian Elemen Pemanas.....	17
Gambar 3. 4 <i>Wiring Panel Furnace</i>	18
Gambar 3. 5 <i>Furnace</i>	19
Gambar 3. 6 Termokopel tipe R	20
Gambar 3. 7 Elemen pemanas	20
Gambar 3. 8 Insulating Break.....	21
Gambar 3. 9 Rockwool.....	22
Gambar 3. 10 PID TZN4S	22
Gambar 3. 11 PID SR91	23
Gambar 3. 12 SSR JGX-33	23
Gambar 3. 13 Fuji Elektronik	24
Gambar 4. 1 Grafik respon sistem variasi Kp PID blok 1 $T=200^{\circ}\text{C}$	28
Gambar 4. 2 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 1 $T=200^{\circ}\text{C}$ dengan $K_u=0.2$ dan $P_u=132$	30
Gambar 4. 3 Grafik respon sistem variasi Kp PID blok 2 $T=200^{\circ}\text{C}$	31
Gambar 4. 4 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 2 $T=200^{\circ}\text{C}$ dengan 2 $K_u=0.6$ dan $P_u=180$.	33
Gambar 4. 5 Grafik respon sistem variasi Kp PID blok 3 $T=200^{\circ}\text{C}$	34
Gambar 4. 6 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 3 $T=200^{\circ}\text{C}$ dengan $K_u=0.4$ dan $P_u=21$	36
Gambar 4. 7 Grafik respon sistem variasi Kp PID blok 1 $T=300^{\circ}\text{C}$	37

Gambar 4. 8 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 1 $T=300^{\circ}\text{C}$ dengan $K_u=0.8$ dan $\tau_d=22$	39
Gambar 4. 9 Grafik respon sistem variasi K_p PID blok 2 $T=300^{\circ}\text{C}$	40
Gambar 4. 10 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 2 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.8$ dan $P_u=320$	42
Gambar 4. 11 Grafik respon sistem variasi K_p PID blok 3 $T=300^{\circ}\text{C}$	43
Gambar 4. 12 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 3 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=1.2$ dan $P_u=24$	45
Gambar 4. 13 Grafik respon sistem variasi K_p PID blok 1 $T=400^{\circ}\text{C}$	46
Gambar 4. 14 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 2 blok 1 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.4$ dan $P_u=76$	48
Gambar 4. 15 Grafik respon sistem variasi K_p PID blok 2 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.4$ dan $P_u=76$	49
Gambar 4. 16 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 2 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.2$ dan $P_u=213$	51
Gambar 4. 17 Grafik respon sistem variasi K_p PID blok 3 $T=400^{\circ}\text{C}$	52
Gambar 4. 18 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 3 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.6$ dan $P_u=44$	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis-jenis <i>Furnace</i>	5
Tabel 2. 2 Jenis-jenis elemen pemanas.....	6
Tabel 2. 3 Model penalaan konstanta PID dengan metode Ziegler-Nichols metode osilasi.....	13
Tabel 2. 4 Model penalaan konstanta PID dengan metode Tyreus-Luyben	14
Tabel 4. 1 Perhitungan metode Z-N PID blok 1 $T=200^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.2$ dan $P_u=132$	29
Tabel 4. 2 Perhitungan metode T-L PID blok 1 $T=200^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.2$ dan $P_u=132$	29
Tabel 4. 3 Perhitungan metode Z-N PID blok 2 $T=200^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.6$ dan $P_u=180$	32
Tabel 4. 4 Perhitungan metode T-L PID blok 2 $T=200^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.6$ dan $P_u=180$	32
Tabel 4. 5 Perhitungan metode Z-N PID blok 3 $T=200^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.4$ dan $P_u=21$	35
Tabel 4. 6 Perhitungan metode T-L PID blok 3 $T=200^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.4$ dan $P_u=21$	35
Tabel 4. 7 Perhitungan metode Z-N PID blok 1 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.8$ dan 22.....	38
Tabel 4. 8 Perhitungan metode T-L PID blok 1 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.8$ dan 22.....	38
Tabel 4. 9 Perhitungan metode Z-N PID blok 2 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.8$ dan P_u 320.....	41
Tabel 4. 10 Perhitungan metode T-L PID blok 1 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.8$ dan P_u 320.....	41
Tabel 4. 11 Perhitungan metode Z-N PID blok 3 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=1.2$ dan P_u 24.....	44
Tabel 4. 12 Perhitungan metode T-L PID blok 3 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=1.2$	

dan Pu 24.....	44
Tabel 4. 13 Perhitungan metode Z-N PID blok 1 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.4$ dan $P_u=76$	47
Tabel 4. 14 Perhitungan metode T-L PID blok 1 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.4$ dan $P_u=76$	47
Tabel 4. 15 Perhitungan metode Z-N PID blok 2 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.2$ dan $P_u=213$	50
Tabel 4. 16 Perhitungan metode T-L PID blok 2 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.2$ dan $P_u=213$	50
Tabel 4. 17 Perhitungan metode Z-N PID blok 3 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.6$ dan $P_u=44$	53
Tabel 4. 18 Perhitungan metode T-L PID blok 3 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.6$ dan $P_u=44$	53
Tabel 4. 19 Pemilihan K_u dan P_u pada $T=200^{\circ}\text{C}$	57
Tabel 4. 20 Pemilihan K_u dan P_u pada $T=300^{\circ}\text{C}$	58
Tabel 4. 21 Pemilihan K_u dan P_u pada $T=400^{\circ}\text{C}$	59
Tabel 4. 22 Variabel kontrol PID pada $T=200^{\circ}\text{C}$	60
Tabel 4. 23 Variabel kontrol PID pada $T=300^{\circ}\text{C}$	60
Tabel 4. 24 Variabel kontrol PID pada $T=400^{\circ}\text{C}$	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Variasi K_p $T=200^{\circ}\text{C}$	67
Lampiran 2 Variasi K_p $T=300$	77
Lampiran 3 Variasi K_p $T=400$	88
Lampiran 4 Pengujian Metode Ziegler-Nichols dan Metode Tyreus-Luyben $T=200$	98
Lampiran 5 Pengujian Metode Ziegler-Nichols dan Metode Tyreus-Luyben $T=300$	103
Lampiran 6 Pengujian Metode Ziegler-Nichols dan Metode Tyreus-Luyben $T=400$	107

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Furnace yang dikembangkan Laboratorium Instrumentasi Elektronika adalah *Furnace* tabung dengan temperatur tinggi yang dirancang untuk pemrosesan bahan dalam bentuk partikel maupun film dengan proses aerosol dekomposisi (*spray pyrolysis*), *Furnace* ini merupakan sistem utama dan terpenting dari metoda *spray pyrolysis*, karena pada sistem ini proses pembentukan partikel – partikel bahan yang disintesa terjadi.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Diky Anggoro di ITB Bandung, rancang bangun *Furnace* yang dibuat ukurannya kecil yaitu hanya 2 blok. Serta elemen pemanas yang digunakan adalah Silica Carbida (SiC). Kemudian dilanjutkan Mohammad Syaifuddin dengan membuat *Furnace* dengan ukuran yang lebih besar dengan menggunakan elemen pemanas yang berbeda dengan judul “*Rancang Bangun Furnace Suhu Tinggi Berbasis Termokopel Tipe-R dengan Sistem Kontrol PID Sebagai Salah Satu Subsistem Spray Pyrolysis*”. *Furnace* yang dikembangkan sekarang memiliki 3 blok dengan sistem kontrol PID pada masing-masing blok.

Pengendalian proses telah menjadi semakin penting dalam industri proses sebagai konsekuensi dari persaingan global, cepat perubahan kondisi ekonomi, dan peraturan lingkungan dan keselamatan yang lebih ketat. Kontrol proses juga menjadi perhatian penting dalam pengembangan proses lebih fleksibel dan lebih kompleks untuk pembuatan produk bernilai tambah tinggi. Salah satu kompleks dan sulit dalam proses kontrol adalah kontrol tuning. Kontrol tuning isu kunci utama untuk mengoperasikan pabrik. Proses tuning peran kunci dalam memastikan bahwa

kinerja pabrik memenuhi tujuan operasi. Sehingga perlu optimasi dan pengujian tersendiri pada bagian sistem kontrol PID untuk mendapatkan hasil pengontrolan temperatur lebih stabil dan efisien dibanding dengan pengontrolan konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah mengoptimasi *furnace* dengan sistem kontrol PID untuk mendapatkan performa yang terbaik?
- b. Bagaimanakah formula variabel terbaik PID untuk mengoptimalkan pemanasan *furnace*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengoptimasi sistem kontrol PID dalam penggunaannya pada sistem kerja *Furnace* sehingga bisa didapatkan formula variabel terbaik untuk mengoptimalkan pemanasan *Furnace*.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, dibatasi beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- a) Temperatur yang digunakan untuk optimasi suhu 200°C, 300°C, 400°C,
- b) Metode yang digunakan adalah metode Ziegler-Nichols dan metode Tyreus-Luyben loop tertutup.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian tugas akhir ini dapat membantu mendapatkan performa terbaik kontrol pid pada tiap tingkatan suhu yang digunakan dalam pemanasan *furnace* sehingga didapatkan respon sistem yang baik dan kestabilan yang baik.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan penelitian.
2. Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung analisis.
3. Bab III – Metodologi Penelitian, berisi alat dan bahan, data penelitian, serta uraian mengenai metode-metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian.
4. Bab IV – Analisis Data dan Pembahasan, menjelaskan tentang hasil-hasil yang didapat dari pengerjaan pada penelitian ini.
5. Bab V – Kesimpulan dan Saran, berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil analisis data dan pembahasan serta saran-saran yang digunakan untuk mendukung penelitian selanjutnya.
6. Lampiran, berisi grafik hasil respon sistem.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Furnace*

Furnace (Heater) adalah suatu alat yang digunakan untuk memancarkan panas atau suatu alat yang digunakan untuk mencapai temperatur yang lebih tinggi. Didalam istilah elektronika, *heater* adalah kumpulan dari kawat serabut yang terdapat didalam ruang hampa udara yang berfungsi untuk memanaskan katode didalam suatu transmisi emisi elektron. Jenis-jenis *furnace* pada Tabel 2.1 menjelaskan pembagian *furnace* berdasarkan sifat benda yang dipanaskan dan kegunaannya.

Tabel 2. 1 Jenis-jenis *Furnace*

Jenis Heater	Sifat Benda yang Dipanaskan	Memanaskan / Membuat
<i>Tubular Straight, Multiform</i>	Padat	Direkatkan pada dies, heat sealing tools, dll.
<i>Tubular Straight, Multiform</i>	Cair	Air, minyak, plating, aspal, garam, dll
<i>Turbular</i>	Permukaan benda Padat	Drying, baking, kain, plastic, makanan, dll.
<i>Immersion Heater</i>	Cair	Air, minyak, plating, aspal, garam, dll
<i>Finned Heater</i>	Gas	Menghangatkan oven, ruangan, dll.
<i>In – Line</i>	Cair, Gas	Air, memanaskan minyak pemanas mesin, dll

Furnace listrik memiliki prinsip kerja memanaskan material yang telah dimasukkan ke dalam ruang pemanas *furnace*. Ketika elemen pemanas diberikan sumber tegangan maka elemen pemanas akan menjadi panas dan kemudian panas akan merambat menuju material yang dipanaskan secara radiasi.

Elemen pemanas adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja dari elemen pemanas sendiri adalah arus listrik yang mengalir pada elemen yang memiliki resistansi tertentu, sehingga elemen menghasilkan panas. Berikut adalah kriteria elemen pemanas yang baik,

1. Harus tahan lama pada suhu yang dikehendaki.
2. Sifat mekanisme harus kuat pada suhu yang dikehendaki.
3. Koefisien muai harus kecil, sehingga perubahan bentuknya pada suhu yang dikehendaki tidak terlalu besar.
4. Tahanan jenisnya harus tinggi.
5. Koefisien suhunya harus kecil, sehingga arus kerjanya sedapat mungkin konstan. (Rahmat, 2015)

Elemen pemanas yang digunakan pada *furnace* listrik dijelaskan pada Tabel 2.2 ada beberapa jenis. Seperti nichrome (nikel/chromium alloy) atau kanthal, kawat platinum/rhodium, silicon carbide (SiC), dan kanthal super.

Tabel 2. 2 Jenis-jenis elemen pemanas

Elemen Pemanas	Suhu Maksimum
Nikelin/Kanthal	1300°C
Kawat platinum/rhodium	1500°C
Silicon carbide (SiC)	1550°C
Kanthal Super	1700°C

2.2 Termokopel

Termokopel adalah sensor suhu yang banyak digunakan yang berfungsi untuk mengubah perbedaan panas dalam benda yang diukur temperaturnya menjadi perubahan potensial atau tegangan listrik. Termokopel merupakan salah satu jenis dari termometer elektronik . Dalam dunia industri penggunaan termokopel dimanfaatkan untuk melakukan pengukuran suhu. Hal ini dikarenakan jangkauan pengukuran yang lebar, yakni – 270°C sampai 2000°C dengan sensitifitas yang sangat tinggi. Termokopel dapat mengubah perbedaan temperatur menjadi potensial atau tegangan listrik yang besar beda potensial yang didapatkan adalah sekitar $1\text{--}70\ \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$, bergantung dari jenis termokopelnya (Gopel, Zemel , & Hesse, 1990).

Termokopel merupakan sensor temperatur yang bisa digunakan mengukur suhu dengan nilai yang tinggi, sehingga sensor suhu termokopel ini banyak digunakan untuk industri. Sensor suhu termokopel memiliki nilai output yang kecil dengan noise yang tinggi, sehingga memerlukan rangkaian pengkondisi sinyal agar nilai output tersebut dapat dibaca dengan baik.

Pengukuran termokopel ada beberapa sifat dasar dari sebuah termokopel, antara lain adalah jenis material yang digunakan pada termokopel berpengaruh terhadap nilai EMF dari termokopel. EMF tidak akan mengalami perubahan apabila kedua junction berada pada suhu yang sama. Dari sifat-sifat dasar di atas, pengukuran termokopel salah satunya dipengaruhi oleh jenis material penyusunnya. Sehingga pada saat pengukuran EMF dengan menggunakan multimeter atau disambungkan dengan kabel, tidak secara langsung multimeter atau kabel tersebut dapat disambungkan pada ujung-ujung termokopel. Hal ini dikarenakan, multimeter tersebut dapat menjadi sebuah *junction* (sambungan) baru yang bisa menimbulkan EMF baru. EMF ini nantinya akan terukur juga, sehingga dapat terjadi kesalahan pengukuran nilai temperatur yang sebenarnya (Gopel, Zemel , & Hesse, 1990).

Efek termoelektrik didasarkan pada dua logam yang berbeda disambungkan dan kedua ujung logam tersebut dijaga temperatur

yang berbeda, maka akan ada lima fenomena yang terjadi yaitu efek *moule*, efek *fourier*, efek *seebeck*, efek *peltier* dan efek *Thomson* (Holman, 1994). Termoelektrik merupakan konversi langsung dari panas menjadi listrik. Termoelektrik pada umumnya terbuat dari bahan semikonduktor yang tersusun dari suatu susunan elemen tipe-p yaitu material yang kekurangan elektron dan terdiri juga dari susunan tipe-n yaitu material yang kelebihan elektron. Pada penerapannya sebagai material termoelektrik, dua buah material disusun secara berpasangan. Pasangan material ini biasa disebut tipe-*p* dan tipe-*n*. Pasangan material ini diletakkan sedemikian rupa sehingga kedua permukaan pasangan mendapatkan suhu yang berbeda (Meyer, 1972).

2.2.1 Jenis-jenis Termokopel

Untuk mempermudah memahami jenis-jenis termokopel menjelaskan jenis dan kemampuan pengukuran, termokopel dapat diklasifikasikan diantaranya :

- Tipe B (Campuran Platinum / Rhodium) : dapat mengukur sampai suhu yang sangat tinggi, yaitu 100°C sampai 1800°C. Tapi tidak dapat mengukur suhu dibawah 50°C, karena dibawah temperatur itu tidak sensitive. Artinya setelah temperatur 50° celcius baru terbaca.
- Tipe E (Campuran Chrome / Constantan) : termokopel ini digunakan untuk temperatur rendah, -270°C sampai +790°C.
- Tipe J (Campuran Iron / Constantan) : termokopel ini digunakan untuk temperatur rendah, -40°C sampai +750°C. Tipe J ini tidak bisa digunakan lebih dari +760°C, hal ini karena akan merusak sensor ini. Tipe ini sekarang jarang sekali digunakan pada aplikasinya.
- Tipe K (Campuran Chrome / Alumel) : Sensor tipe ini banyak digunakan, karena harganya murah, peka dan jangkauan temperatur yang luas yaitu dari -200°C sampai +1200°C.

- Tipe N (Campuran Nicrosil / Nisil) : Sensor ini akan sangat stabil dan tahan terhadap panas yang tinggi, -260°C sampai +1300°C. Akan tetapi tipe N ini kurang peka.
- Tipe R (Campuran Platinum / Rhodium) : Tipe ini kurang sensitif terhadap masukan, tetapi bisa mencapai suhu 1600°C.
- Tipe S (Campuran Platinum / Rhodium) : Sensor ini sangat peka, harganya juga lumayan mahal. Suhu yang diukur antara -50°C sampai 1760°C.
- Tipe T. Merupakan sensor dengan suhu yang diukur antara 0°C sampai 350°C (Popong, Gatot, & Hari, 2007).

2.3 Kontrol PID

Proporsional-Integral -Derivatif (PID) kontroler adalah jenis dominan kontrol umpan balik. PID kontroler banyak digunakan dalam industri karena kesederhanaan dan kemudahan tuning. Output dari PID adalah kombinasi linear dari input, turunan dari input dan *Integral* dari input. Hal ini banyak digunakan karena sederhana, efektif dan efisien.

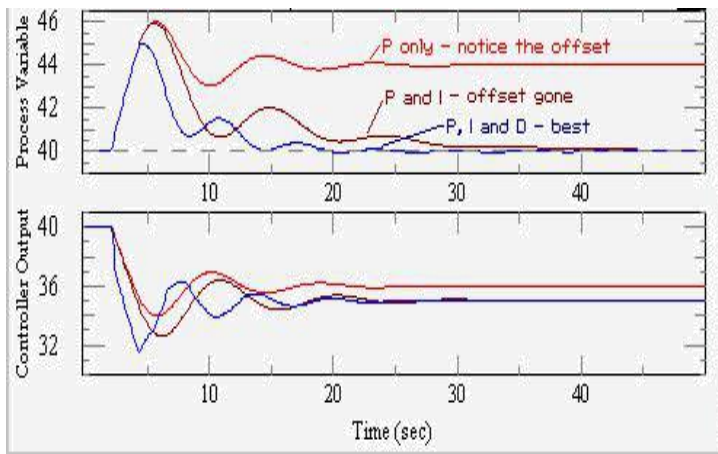
Sistem yang memanfaatkan umpan balik disebut sistem kontrol loop tertutup. Sebuah sistem kontrol loop terbuka tidak menggunakan umpan balik. Sistem kontrol loop tertutup biasanya beroperasi pada frekuensi tetap. Frekuensi perubahan sinyal biasanya sama dengan *sampling rate*, dan tentu saja tidak lebih cepat. Setelah membaca setiap sampel baru dari sensor, perangkat lunak bereaksi terhadap perubahan keadaan dengan menghitung ulang dan menyesuaikan sinyal masukan. *Plant* merespon perubahan ini, sampel yang lain diambil, dan siklus berulang. Akhirnya, *plant* harus mencapai keadaan yang diinginkan dan sistem akan berhenti membuat perubahan.

Sebuah sistem kontrol umpan balik yang efektif diharapkan menjadi stabil dan mampu menyebabkan sistem keluaran akhirnya untuk mencapai nilai set-point yang diinginkan

misalnya. Pendekatan sistem output ini untuk diinginkan set-point tidak boleh terlalu lamban, atau terlalu osilasi. Pada metode ini mengungkapkan tiga jenis kriteria yang ditutup kinerja sistem loop dapat dinilai secara umum.

- Kriteria stabilitas
- Kriteria steady state
- Kriteria Respon Dinamis

Hanya dua yang pertama yang sangat mudah untuk menentukan. Untuk mengilustrasikan jenis respon umpan balik yang meningkatkan tergantung pada proses yang sedang dikendalikan, pilihan jenis kontroler dan parameter kontroler yang dipilih. Sistem kontrol yang terbaik diputuskan dengan respon untuk masalah tertentu. Set-point adalah keadaan yang diinginkan. Kesalahan didefinisikan sebagai perbedaan antara set-point dan pengukuran. Variabel yang disesuaikan disebut variabel dimanipulasi yang biasanya sama dengan output dari kontroler. Output dari kontroler PID akan berubah dalam menanggapi perubahan dalam pengukuran atau set-point. Dari Gambar 2.1, itu menunjukkan perbedaan P, PI dan kontroler PID.



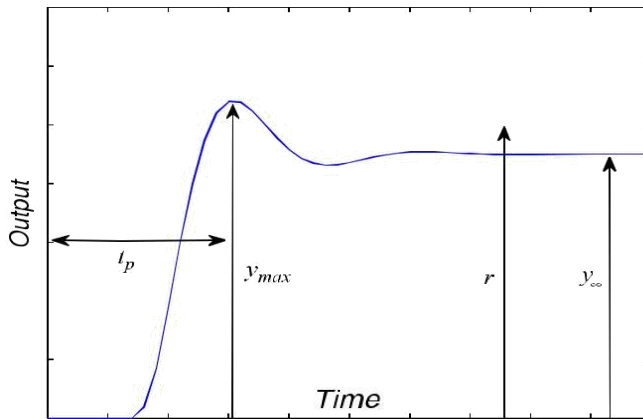
Gambar 2. 1 Perbedaan P, PI dan Controller PID

Kontroler PID dirancang untuk secara otomatis mengontrol variabel proses seperti aliran, suhu, atau tekanan. Sebuah kontroler melakukan ini dengan mengubah masukan proses sehingga output proses setuju dengan hasil yang diinginkan. Satuan tindakan proporsional dapat berupa persen Proporsional Band P atau Proporsional Gain Ku. Tindakan proporsional harus bekerja pada penyimpangan atau variabel yang dikendalikan tergantung pada pilihan pengguna. Pengguna juga harus dapat menyesuaikan jumlah tindakan proporsional diterapkan pada set point. Pengaturan Band proporsional harus berkisar dari 1 sampai 10.000. Jika gain digunakan, kisaran gain harus 1-100.

Kontrol *Integral* satuan tindakan terpisahkan harus di menit pengulangan. Tindakan terpisahkan harus beroperasi pada sinyal penyimpangan. Waktu *Integral* harus disesuaikan antara 0,002-1000 menit. Harus ada anti-ulang logika penyelesaian sehingga output dari istilah terpisahkan tidak jenuh dalam batas ketika output kontroler mencapai batas itu. Metode anti-ulang penyelesaian harus memasukkan umpan balik terpisahkan. Hal ini memungkinkan sinyal pengukuran sekunder untuk *feedback* ke kontroler utama dalam kaskade, *feedforward*, dan sistem kontrol kendala, memaksimalkan efektivitas, pengoperasian, dan ketahanan. Kontroler harus mampu beroperasi tanpa tindakan *Integral* , melalui penerapan bias output disesuaikan (Fadzli, 2006).

2.4 Metode Tuning PID

Metode *setpoint overshoot* didasarkan pada loop tertutup *setpoint* percobaan. Penelitian ini didasarkan pada simulasi dan pengamatan. Dari percobaan *setpoint*, dapat mengamati banyak nilai, seperti waktu dan besarnya puncak pertama (*overshoot*), stabil, waktu naik, periode osilasi dan *settling time*. Gambar 2.2 menunjukkan hasil respon sistem loop tertutup dengan metode *setpoint overshoot*.



Gambar 2. 2 Respon loop tertutup dengan kontrol P

Metode ini hanya membutuhkan stabil nilai negara, waktu dan besarnya *overshoot* dan pengendali gain K_p . Jadi tujuannya adalah untuk mendapatkan korelasi antara data respon *setpoint* dan pengaturan kontroler yang diberikan. (Amoura, Manshouri, Bettayeb, & Al-Saggaf, 2016)

2.4.1 Metode Ziegler-Nichols (Z-N)

Metode perintis ini, juga dikenal sebagai *close-loop* atau on-line metode tala diusulkan oleh Ziegler dan Nichols pada tahun 1942. Dalam metode ini karakteristik dinamik dari proses diwakili oleh keuntungan utama dari kontroler proporsional dan periode akhir dari osilasi dari loop. Biasanya *determinate* gain tertinggi dan periode dari proses yang sebenarnya dengan prosedur berikut:

- Matikan mode *Integral* dan turunan dari kontroler umpan balik sehingga memiliki kontroler proporsional.
- Dengan kontroler di otomatis (loop tertutup), meningkatkan keuntungan proporsional (mengurangi

band proporsional) sampai loop berosilasi dengan amplitudo konstan.

- Catat nilai gain yang menghasilkan osilasi berkelanjutan. Untuk mencegah loop dari pergi tidak stabil, kenaikan yang lebih kecil di keuntungan yang dibuat sebagai keuntungan utama didekati.
- Dari rekaman waktu dari variabel yang dikendalikan seperti Gambar di bawah ini, periode osilasi diukur dan dicatat sebagai T periode akhir.

Untuk respon yang diinginkan dari loop dekat, metode ZN ditentukan rasio peluruhan seperempat. Rasio pembusukan adalah rasio amplitudo dua osilasi berturut-turut. Ini harus independen dari input ke sistem dan harus bergantung hanya pada akar persamaan karakteristik untuk loop.

Metode ZN lebih kuat karena tidak memerlukan model proses tertentu. Untuk menyetel kontroler menggunakan metode ZN elemen *Integral* dan turunan dari kontroler PID diabaikan. Elemen proporsional digunakan untuk menemukan K_u yang akan mempertahankan osilasi. Nilai ini dianggap K_u , atau keuntungan utama. osilasi adalah P_u , atau periode akhir. Akibatnya, pengaturan ZN yang masuk akal untuk diterapkan di tuning kontroler menggunakan Tabel 2.4.

Tabel 2. 3 Model penalaan konstanta PID dengan metode Ziegler-Nichols metode osilasi

Tipe Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	$0,5 K_u$	0	-
PI	$0,45 K_u P_u / 1,2$		-
PID	$0,6 K_u$	$0,5 P_u$	$0,125 P_u$

Dengan mengacu pada Tabel 2.3 maka K_u (*ultimate gain*) dan P_u (periode gelombang osilasi).

2.4.2 Metode Tyreus-Luyben (T-L)

Metode Tyreus-Luyben merupakan salah satu metode tuning PID *closed-loop p-control test* dengan cara yang sama dengan metode Ziegler-Nichols. Hasil dari tuning kontrol test yang di fokuskan pada nilai P nanti akan di evaluasi dengan parameter secara empiris dengan tetapan Tyreus-Luyben seperti Tabel dibawah ini.

Tabel 2. 4 Model penalaan konstanta PID dengan metode Tyreus-Luyben

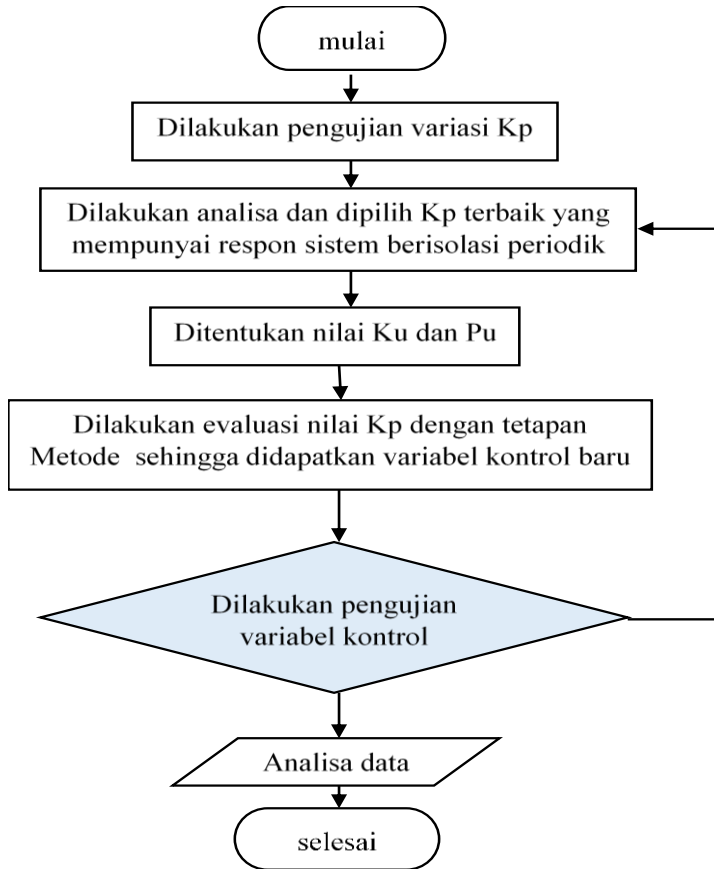
	K_c	t_i	t_d
PI	$\frac{K_u}{3.2}$	$2,2P_u$	
PID	$\frac{K_u}{2.2}$	$2,2P_u$	$\frac{P_u}{6.3}$

Dengan mengacu pada Tabel 2.4 maka K_u (*ultimate gain*) dan P_u (periode gelombang osilasi).

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir

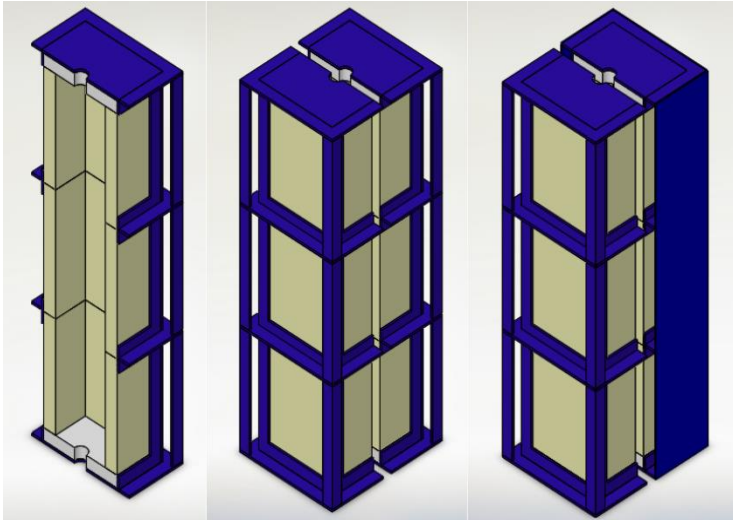
Diagram alir penelitian dijelaskan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Rancang Bangun *Furnace*

Rancang bangun *Furnace* yang akan dioptimasi pada penelitian ini ditunjukkan seperti Gambar 3.2.



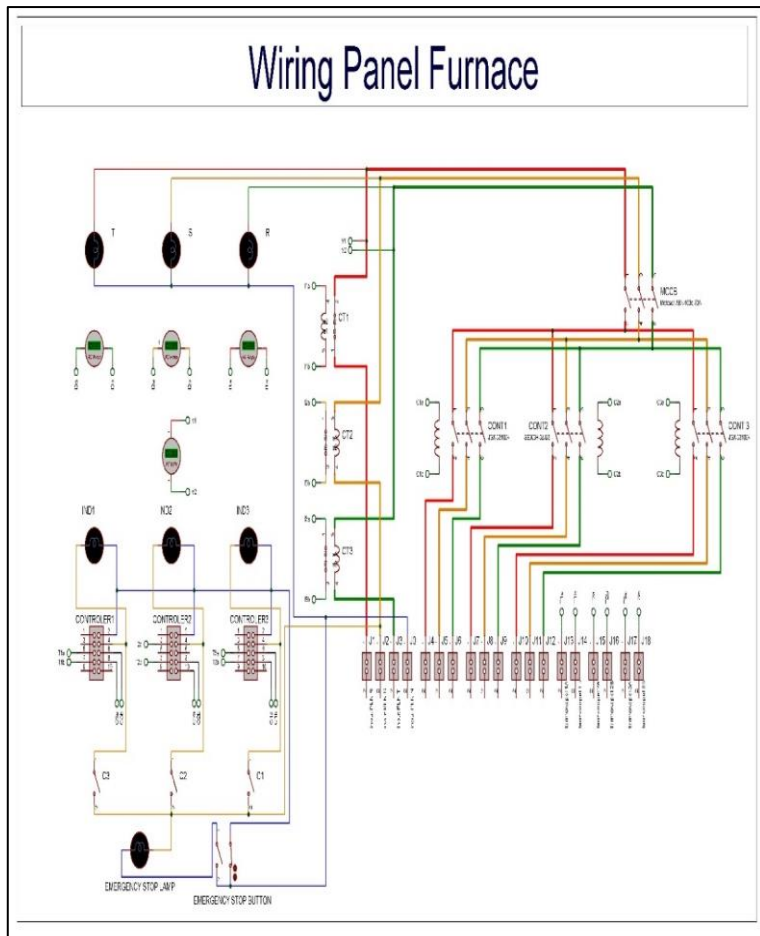
Gambar 3. 2 Rancang Bangun *Furnace*

Furnace yang akan dioptimasi untuk penggunaannya adalah jenis *Furnace* listrik yang terdiri dari 3 blok, seperti Gambar 3.12. Setiap blok memiliki lebar, panjang dan tinggi yang sama. Rancangan *Furnace* listik ini memiliki dimensi sebagai berikut,

Dimensi luar : 60 cm x 50 cm x 150 cm

Dimensi dalam : 33 cm x 23 cm x 144 cm

Wiring pada rancang bangun *Furnace* yang terdapat pada Laboratorium Instrumentasi Elektronika Departemen Fisika FIA ITS seperti yang dijelaskan Gambar 3.4.



Gambar 3. 4 *Wiring Panel Furnace*

3.3 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat dan bahan yang dibutuhkan adalah:

3.3.1 Alat Pemanas (*Furnace*)

Furnace terdiri atas tiga blok yaitu blok 1 (bawah), blok 2 tengah dan blok 3 (atas). Pada Gambar 3.5 adalah *Furnace* yang akan dioptimasi.



Gambar 3. 5 *Furnace*

3.3.2 Termokopel Tipe R

Termokopel yang digunakan adalah produk Mulia Jaya Termokopel Tipe R dengan kemampuan pengukuran dari suhu 0° - 1700°C yang mempunyai diameter 1 cm seperti Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Termokopel tipe R

3.3.3 Elemen Pemanas

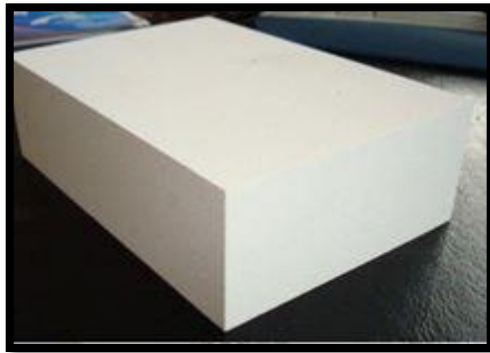
Jenis Nikelin (nikel/chromium alloy) dengan ukuran diameter 1,5 mm, elemen pemanas yang memiliki ketahanan panas sampai 1300°C dan titik Lebur 1400°C seperti Gambar 3.7.



Gambar 3. 7 Elemen pemanas

3.3.4 Insulating Brick C1

Insulating brick C1 seperti Gambar 3.8 dengan ukuran $230 \times 114 \times 65$ mm digunakan untuk menahan dan menjaga panas yang dihasilkan elemen pemanas supaya tidak terbuang. Insulator untuk dinding eksternal dari berbagai tungku karena *insulating brick C1* bisa menahan suhu panas sampai 1300°C dan ketahanan panas yang baik bermanfaat untuk mengurangi pelepasan panas.



Gambar 3. 8 Insulating Break

3.3.5 Rockwool

Rockwool seperti Gambar 3.9 memiliki komposisi kimia Al_2O_3 , SiO_2 dengan tebal 5 cm, densitas 128 kg/m^3 , konduktivitas termal : $0.15(600^{\circ}\text{C})$, $0.19(800^{\circ}\text{C})$ dan memiliki suhu kerja 1260°C .



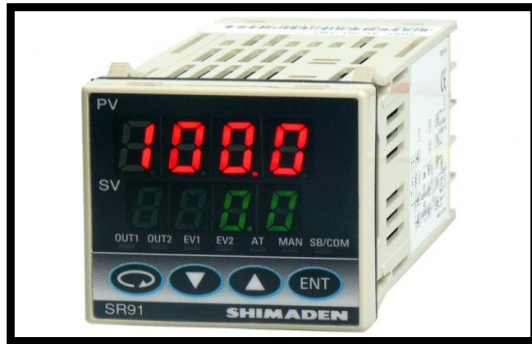
Gambar 3. 9 Rockwool

3.3.6 Kontrol PID

Pada penelitian ini digunakan 2 PID yang berbeda produknya, 2 buah PID Autonics dengan tipe TZN4S dan 1 buah PID Shimaden dengan tipe SR91.



Gambar 3. 10 PID TZN4S



Gambar 3. 11 PID SR91

3.3.7 Solid State Relay

- Phase Solid State Relay seperti Gambar 3.12 produk SSR JGX-33, dengan arus 100A, tegangan input DC 3,5-32 V dan output 480V.



Gambar 3. 12 SSR JGX-33

- Fuji *Solid State Contactor* seperti Gambar 3.13 dari produk Fuji Elektronik dengan arus 30A, tegangan input DC 24 V dan output 480V.



Gambar 3. 13 Fuji Elektronik

3.4 Metodologi

Percobaan dibagi menjadi dua bagian, bagian pertama yaitu mencari P band yang menghasilkan osilasi secara kontinu disetiap variasi suhu yang akan dioptimasi dengan prinsip coba-coba. Setelah harga P band didapatkan kemudian dilakukan perhitungan secara dengan menggunakan tetapan empiris dari metode Ziegler-Nichols dan metode Tyreus-Luyben. Bagian kedua dilakukan pembuktian dengan memasukkan hasil yang didapatkan dari metode dan dilakukan pengamatan dan pencatatan hasil respon pada sistem.

3.4.1 Percobaan Variasi dan Pemilihan Kp

Pada percobaan ini dilakukan pengujian pada sistem kontrol untuk mendapatkan osilasi yang kontinu. Percobaan dimulai dengan mengatur harga P yang divariasi sedangkan harga I diatur ∞ dan harga D diatur 0. Variasi P pada PID dimulai dari yang terkecil yaitu 0,1 sampai mendapatkan osilasi kontinu yang nantinya akan menjadi harga Ku (ultimate gain) atau nilai $K_p = K_u$. Setelah mendapatkan nilai Ku pada osilasi yang kontinu juga bisa didapatkan nilai Tu (ultimate periodik) dengan mengukur waktu osilasinya. Percobaan dilakukan pada setiap variasi suhu yang digunakan. Setelah didapatkan nilai Ku dan Tu dilakukan perhitungan dengan tetapan empiris metode Ziegler-Nichols dan metode Tyreus-Luyben.

3.4.2 Pembuktian Perhitungan Metode

Setelah dilakukan perhitungan dengan dua metode yang digunakan dari harga Ku dan Tu yang didapatkan dari percobaan sebelumnya. Dari hasil perhitungan dengan tetapan empiris masing masing metode dilakukan pembuktian dengan memasukkan harga kontrol masing masing controller PID. Setelah itu diamati dan dicatat respon sistem melingkupi delay time, rise time, setling time, *overshoot* time, error stady state.

3.5 Analisa Data

Berdasarkan rumus PID terlihat bahwa 3 parameter, yaitu K_p , T_i dan T_d yang menentukan besaran keluaran kontrol yang dihasilkan. Agar mendapatkan pengendalian yang optimal pada respon sistem yang baik dan kestabilan sistem yang baik. Dilakukan analisa pada respon sistem setelah didapatkan nilai variabel yang didapatkan pada perhitungan masing –masing

metode yang digunakan untuk mendapatkan variabel kontrol PID yang menghasilkan respon sistem yang paling baik dan stabil.

BAB IV

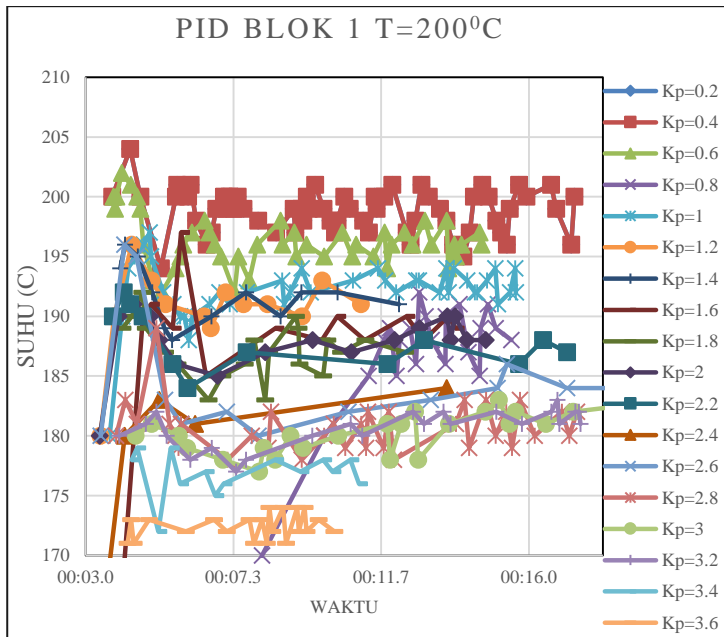
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, berisi tentang hasil analisa dari respon sistem terhadap masukan K_p yang divariasikan dan respon sistem terhadap pengujian parameter yang didapatkan melalui metode yang digunakan. Metode Ziegler-Nichols dan metode Tyreus-Luyben loop tertutup digunakan untuk optimasi *Furnace* yang terdapat pada Laboratorium Instrumentasi Elektronika Departemen Fisika ITS. Optimasi dilakukan pada penggunaan pemanasan suhu 200°C , 300°C dan 400°C . langkah pertama dilakukan adalah menggunakan variasi K_p saja. Variasi K_p yang digunakan dari K_p 0,2 sampai 3,6 dengan delta 0,2. *Furnace* terdiri atas tiga blok dan masing-masing blok menggunakan satu PID.

4.1 Analisa Respon Sistem Pada $T=200^{\circ}\text{C}$

4.1.1 PID Blok 1 $T=200^{\circ}\text{C}$

Pada percobaan dengan mengatur masukan PID dengan hanya mevariasikan pengendali proporsional saja sedangkan dua kontroler lainnya di off atau diatur 0. Variasi K_p yang digunakan sebanyak 18 dengan klasifikasi dari $k_p=0.2$ sampai 3.6 didapatkan respon sistem seperti yang ditunjukkan Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik respon sistem variasi Kp PID blok 1 T=200°C

Dari informasi pada Gambar 4.1 hasil respon sistem PID blok 1 yang dipilih satu nilai Kp yang menunjukkan respon sistem dengan osilasi kontiniu yang memnuhi syarat untuk dilanjutkan untuk mendapatkan nilai kontroler dengan menggunakan tettapan empiris masing-masing metode. Kp yang diplih adalah Kp dengan nilai 0.2. Nilai Ku adalah nilai Kp dan nilai Pu=132. Selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan metode ZN dan TL dengan menggunakan harga Ku dan Pu yang telah ditentukan seperti yang ditunjukan Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

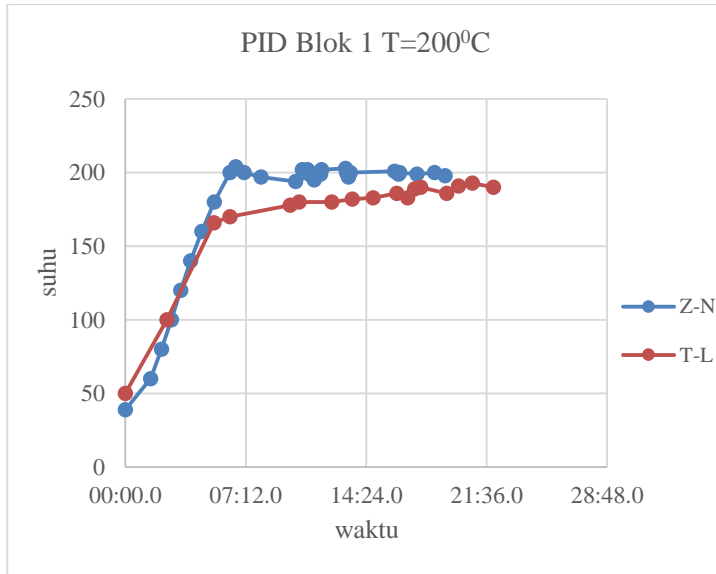
Tabel 4. 1 Perhitungan metode Z-N PID blok 1 $T=200^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.2$ dan $P_u=132$

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	0.1	0	-
PI	0.09	110	-
PID	0.12	66	16.5

Tabel 4. 2 Perhitungan metode T-L PID blok 1 $T=200^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.2$ dan $P_u=132$

pengendali	K_p	T_i	T_d
PI	0.0625	290.4	
PID	0.090909	290.4	20.95238

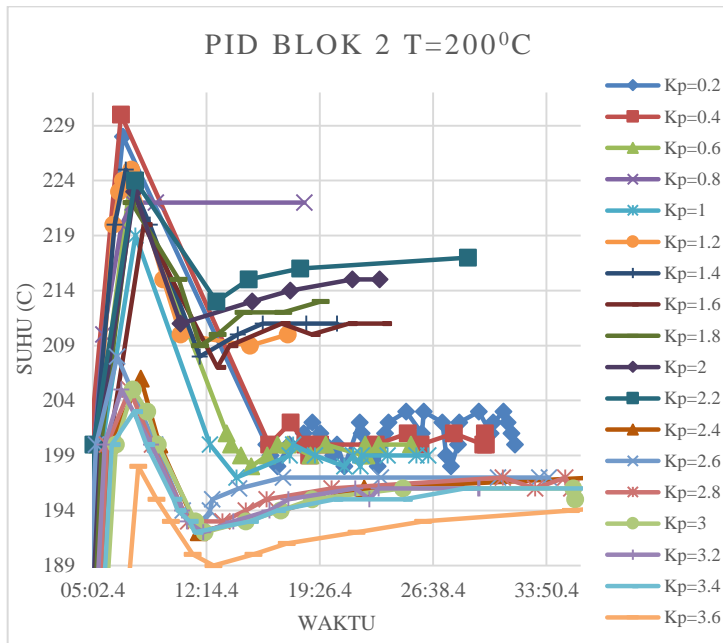
Setelah nilai kontoler PID pada masing-masing metode didapatkan, hasil variabel kontrol PID yang didapatkan dari perhitungan seperti yang ditunjukkan Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 kemudian dilakukan pengujian dengan nilai PID tersebut sebagai input pada sistem untuk mendapatkan respon sistem terbaik.



Gambar 4. 2 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 1 $T=200^{\circ}\text{C}$ dengan $K_u=0.2$ dan $P_u=132$

Grafik respon sistem yang ditunjukkan Gambar 4.2 adalah respon sistem yang dihasilkan PID blok 1 pada suhu 200°C dari perhitungan masing-masing metode Ziegler-Nichols dan Tyreus-Luyben dengan masukan $K_u=0.2$ dan $P_u=132$. Dari grafik didapatkan yang menghasilkan respon sistem dan kestabilan sistem paling baik adalah masukan dari perhitungan metode Ziegler-Nichols dengan hasil *rise time* (waktu naik) 6 menit 14 detik. *Overshoot* sistem sebesar 203. *Setling time* atau sistem mengalami keadaan *error steady-state* pada waktu 10 menit 34 detik dengan *error steady-state* dalam rentang 0-1.5 %. Sedangkan hasil masukan dari metode Tyreus-Luyben sistem tidak mencapai *rise time* dan tidak terjadi *overshoot*. Sistem pada waktu 10 menit 22 detik sudah mengalami *setling time* dengan *error steady-state* sebesar 3.5%.

4.1.2 PID Blok 2 $T=200^{\circ}\text{C}$



Gambar 4. 3 Grafik respon sistem variasi Kp PID blok 2 $T=200^{\circ}\text{C}$

Dari informasi respon sistem yang ditunjukkan Gambar 4.3 PID blok 2 yang dipilih satu nilai Kp yang menunjukkan respon sistem dengan osilasi kontiniu yang memenuhi syarat untuk dilanjutkan untuk mendapatkan nilai kontroler dengan menggunakan tetapan empiris masing-masing metode. Nilai $K_u=0.6$ adalah nilai Kp nilai $P_u=180$. Selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan metode ZN dan TL dengan menggunakan harga K_u dan P_u yang telah ditentukan seperti yang ditunjukkan Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

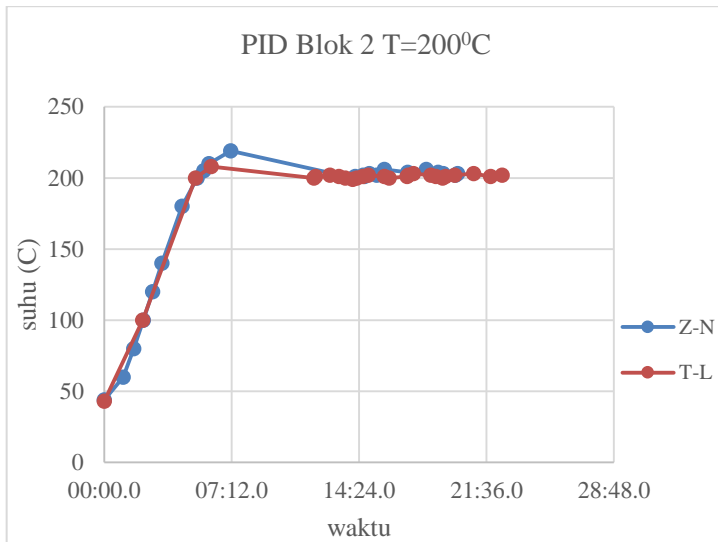
Tabel 4. 3 Perhitungan metode Z-N PID blok 2 $T=200^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.6$ dan $P_u=180$

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	0.3	0	-
PI	0.27	150	-
PID	0.36	90	22.5

Tabel 4. 4 Perhitungan metode T-L PID blok 2 $T=200^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.6$ dan $P_u=180$

Pengendali	K_p	T_i	T_d
PI	0.1875	396	
PID	0.272727	396	28.57143

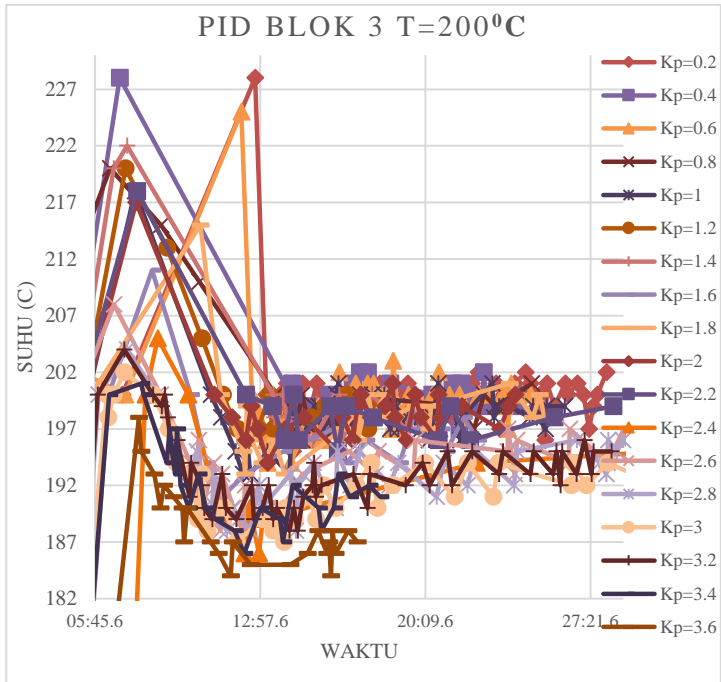
Setelah nilai kontroler PID pada masing-masing metode didapatkan, hasil variabel kontrol PID yang didapatkan dari perhitungan seperti yang ditunjukkan Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 kemudian dilakukan pengujian dengan nilai PID tersebut sebagai input pada sistem untuk mendapatkan respon sistem terbaik.



Gambar 4. 4 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 2 $T=200^{\circ}\text{C}$ dengan $2\text{ Ku}=0.6$ dan $\text{Pu}=180$

Grafik respon sistem yang ditunjukkan Gambar 4.4 PID blok 2 pada suhu 200°C dari perhitungan masing-masing metode Ziegler-Nichols dan Teyreus-Luyben dengan masukan $\text{Ku}=0.6$ dan $\text{Pu}=180$. Respon sisten hasil masukan dari metode Ziegler-Nichols sistem mencapai *rise time* selama 5 menit 15 detik dan mempunyai *overshoot* 219. Sistem mengalami *setling time* pada 14 menit 5 detik dengan *error stady-state* sebesar 0-3%. Hasil masukan dari perhitungan metode Tyreus-Luyben dengan hasil *rise time* (waktu naik) 5 menit 9 detik. *Overshoot* sistem sebesar 208. *Setling time* atau sistem mengalami keadaan *error stady-state* pada waktu 11 menit 56 detik dengan *error stady-state* dalam rentang 0-1.5 %. Dari hasil yang didapatkan hasil terbaik pada PID blok 2 suhu 200°C adalah masukan metode Teyreus-Luyben.

4.1.3 PID Blok 3 T=200°C



Gambar 4. 5 Grafik respon sistem variasi K_p PID blok 3 $T=200^{\circ}\text{C}$

Dari hasil respon sistem pada Gambar 4.5 didapatkan hasil respon sistem PID blok 3 pada suhu 200°C diatas yang dipilih satu nilai K_p yang menunjukan respon sistem dengan osilasi kontiniu yang memnuhi syarat untuk dilanjutkan untuk mendapatkan nilai kontroler dengan menggunakan tetapan empiris masing-masing metode. Nilai $K_u=0.4$ adalah nilai K_p nilai $P_u=21$. Selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan metode ZN dan TL dengan menggunakan harga K_u dan P_u yang telah ditentukan seperti yang ditunjukan Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

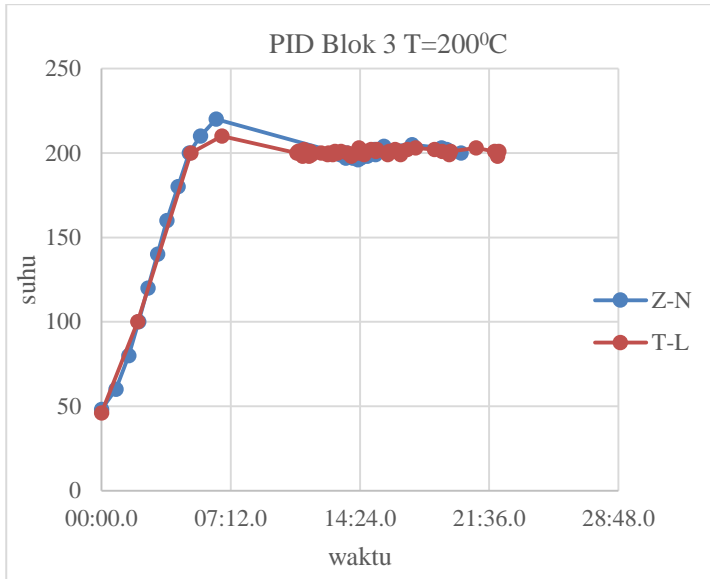
Tabel 4. 5 Perhitungan metode Z-N PID blok 3 $T=200^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.4$ dan $P_u=21$

Pengendali	Kp	Ti	Td
P	0.2	0	-
PI	0.18	17.5	-
PID	0.24	10.5	2.625

Tabel 4. 6 Perhitungan metode T-L PID blok 3 $T=200^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.4$ dan $P_u=21$

Pengendali	Kp	Ti	Td
PI	0.125	46.2	
PID	0.181818	46.2	3.333333

Setelah nilai kontroler PID pada masing-masing metode didapatkan, hasil variabel kontrol PID yang didapatkan dari perhitungan seperti yang ditunjukkan Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 kemudian dilakukan pengujian dengan nilai PID tersebut sebagai input pada sistem untuk mendapatkan respon sistem terbaik.

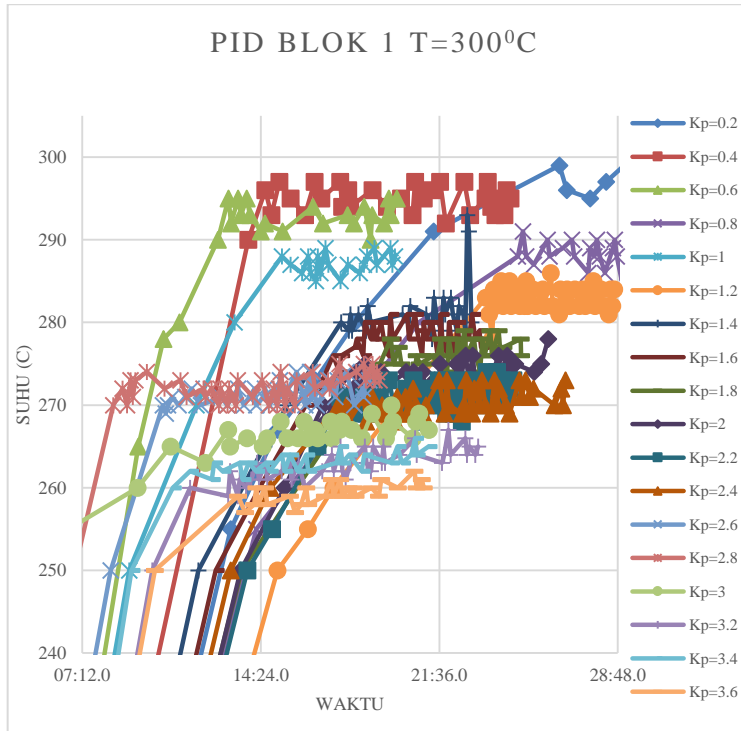


Gambar 4. 6 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 3 $T=200^{\circ}\text{C}$ dengan $K_u=0.4$ dan $P_u=21$

Grafik respon sistem yang ditunjukkan Gambar 4.6 PID blok 3 pada suhu 200°C dari perhitungan masing-masing metode Ziegler-Nichols dan Tyreus-Luyben dengan masukan $K_u=0.4$ dan $P_u=21$. Respon sisten hasil masukan dari metode Ziegler-Nichols sitem mencapai *rise time* selama 4 menit 53 detik dan mempunyai *overshoot* 220. Sistem mengalami *settling time* pada 13 menit 16 detik dengan *error stady-state* sebesar 0-2.5%. Hasil masukan dari perhitungan metode Tyreus-Luyben dengan hasil *rise time* (waktu naik) 4 menit 58 detik. *Overshoot* sistem sebesar 210. *Settling time* atau sistem mengalami keadaan *error stady-state* pada waktu 10 menit 56 detik dengan *error stady-state* dalam rentang 0-1.5 %. Dari hasil yang didapatkan hasil terbaik pada PID blok 3 suhu 200°C adalah masukan metode Teyreus-Luyben.

4.2 Analisa Respon Sistem Pada $T=300^{\circ}\text{C}$

4.2.1 PID Blok 1 $T=300^{\circ}\text{C}$



Gambar 4. 7 Grafik respon sistem variasi K_p PID blok 1 $T=300^{\circ}\text{C}$

Dari informasi respon sistem pada Gambar 4.7 PID blok 1 pada suhu 300°C yang dipilih satu nilai K_p yang menunjukkan respon sistem dengan osilasi kontiniu yang memnuhi syarat untuk dilanjutkan untuk mendapatkan nilai kontroler dengan menggunakan tettapan empiris masing-masing metode. Nilai $K_u=0.8$ adalah nilai K_p nilai $P_u=22$. Selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan metode ZN dan TL dengan menggunakan harga K_u dan P_u yang telah ditentukan seperti yang ditunjukan Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

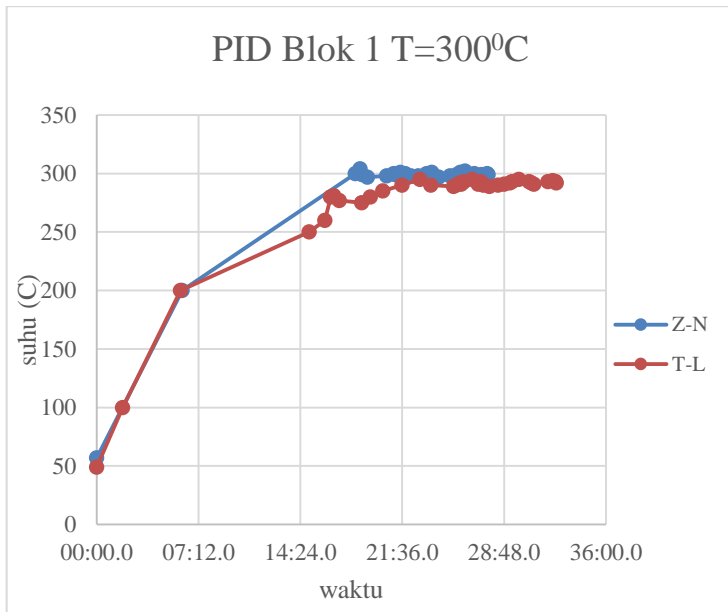
Tabel 4. 7 Perhitungan metode Z-N PID blok 1 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.8$ dan 22

Pengendali	Kp	Ti	Td
P	0.4	0	-
PI	0.36	18.3333333	-
PID	0.48	11	2.75

Tabel 4. 8 Perhitungan metode T-L PID blok 1 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.8$ dan 22

Pengendali	Kp	Ti	Td
PI	0.25	48.4	
PID	0.363636	48.4	3.492063

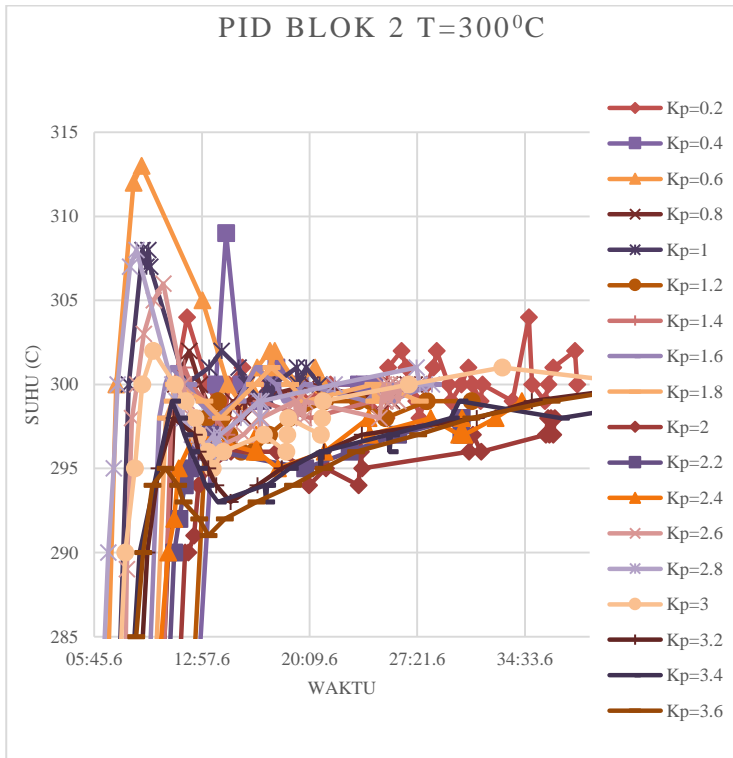
Setelah nilai kontoler PID pada masing-masing metode didapatkan, hasil variabel kontrol PID yang didapatkan dari perhitungan seperti yang ditunjukkan Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 kemudian dilakukan pengujian dengan nilai PID tersebut sebagai input pada sistem untuk mendapatkan respon sistem terbaik.



Gambar 4. 8 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 1 $T=300^{\circ}\text{C}$ dengan $K_u=0.8$ dan 22

Grafik respon sistem yang ditunjukkan Gambar 4.8 adalah respon sistem yang dihasilkan PID blok 1 pada suhu 300°C dari perhitungan masing-masing metode Ziegler-Nichols dan Tyreus-Luyben dengan masukan $K_u=0.8$ dan 22. Dari grafik didapatkan yang menghasilkan respon sistem dan kestabilan sistem paling baik adalah masukan dari perhitungan metode Ziegler-Nichols dengan hasil *rise time* (waktu naik) 18 menit 17 detik. *Overshoot* sistem sebesar 304. *Setling time* atau sistem mengalami keadaan *error stady-state* pada waktu 18 menit 45 detik dengan *error stady-state* dalam rentang 0-1 %. Sedangkan hasil masukan dari metode Tyreus-Luyben sistem tidak mencapai *rise time* dan tidak terjadi *overshoot*. Sistem pada waktu 21 menit 35 detik sudah mengalami *setling time* dengan *error stady-state* sebesar 3.4%.

4.2.2 PID Blok 2 $T=300^{\circ}\text{C}$



Gambar 4. 9 Grafik respon sistem variasi K_p PID blok 2 $T=300^{\circ}\text{C}$

Dari informasi respon sistem pada Gambar 4.9 didapatkan hasil respon sistem PID blok 2 pada suhu 300°C diatas yang dipilih satu nilai K_p yang menunjukkan respon sistem dengan osilasi kontiniu yang memnuhi syarat untuk dilanjutkan untuk mendapatkan nilai kontroler dengan menggunakan tettapan empiris masing-masing metode. Nilai $K_u=0.8$ adalah nilai K_p nilai $P_u=320$. Selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan metode ZN dan TL dengan menggunakan harga K_u dan P_u yang telah ditentukan seperti yang ditunjukkan Tabel 4.9 dan Tabel 4.10.

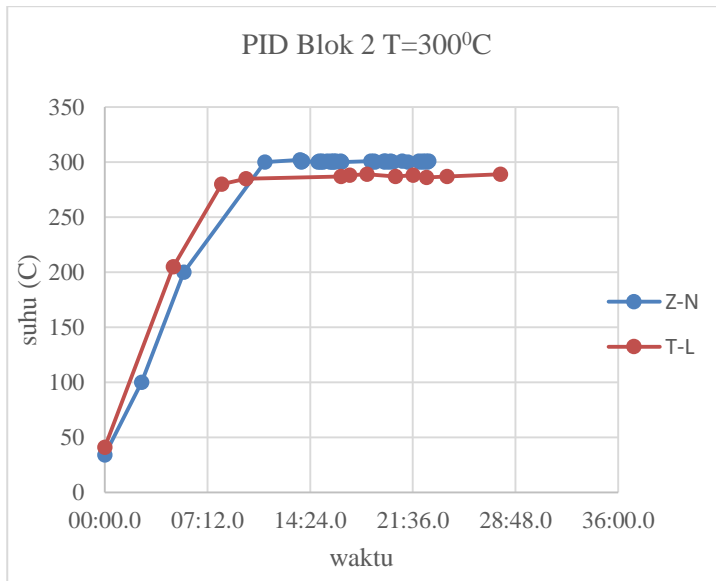
Tabel 4. 9 Perhitungan metode Z-N PID blok 2 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.8$ dan P_u 320

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	0.4	0	-
PI	0.36	266.666667	-
PID	0.48	160	40

Tabel 4. 10 Perhitungan metode T-L PID blok 1 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.8$ dan P_u 320

pengendali	K_p	T_i	T_d
PI	0.25	704	
PID	0.363636	704	50.79365

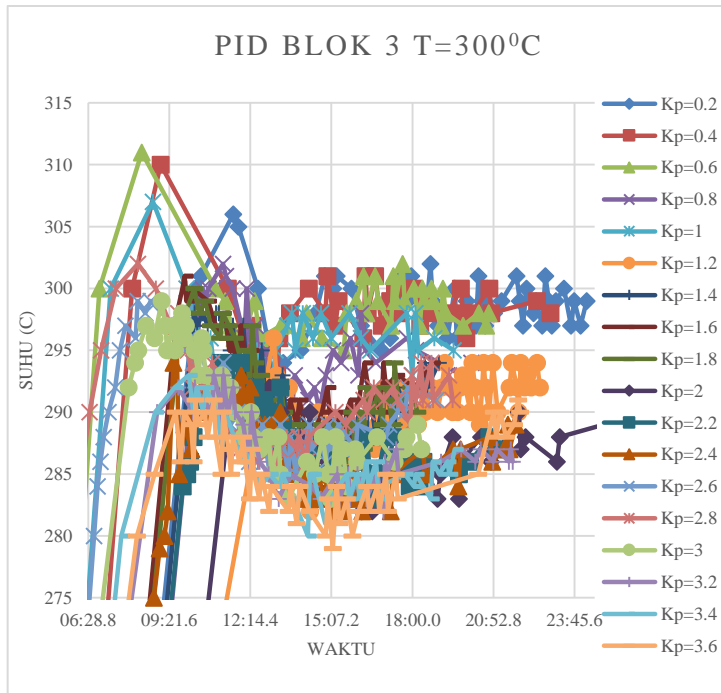
Setelah nilai kontoler PID pada masing-masing metode didapatkan, hasil variabel kontrol PID yang didapatkan dari perhitungan seperti yang ditunjukkan Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 kemudian dilakukan pengujian dengan nilai PID tersebut sebagai input pada sistem untuk mendapatkan respon sistem terbaik.



Gambar 4. 10 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 2 T=300°C Ku=0.8 dan Pu 320

Grafik respon sistem yang ditunjukkan Gambar 4.10 PID blok 2 pada suhu 300°C dari perhitungan masing-masing metode Ziegler-Nichols dan Tyreus-Luyben dengan masukan Ku=0.8 dan Pu 320. Dari grafik didapatkan yang menghasilkan respon sistem dan kestabilan sistem paling baik adalah masukan dari perhitungan metode Ziegler-Nichols dengan hasil *rise time* (waktu naik) 11 menit 12 detik. *Overshoot* sistem sebesar 302. *Setling time* atau sistem mengalami keadaan *error steady-state* pada waktu 13 menit 51 detik dengan *error steady-state* dalam rentang 0-0.3 %. Sedangkan hasil masukan dari metode Tyreus-Luyben sistem tidak mencapai *rise time* dan tidak terjadi *overshoot*. Sistem pada waktu 16 menit 34 detik sudah mengalami *setling time* dengan *error steady-state* sebesar 5.3%.

4.2.3 PID Blok 3 T=300°C



Gambar 4. 11 Grafik respon sistem variasi Kp PID blok 3 T=300°C

Dari informasi respon sistem pada Gambar 4.11 PID blok 3 pada suhu 300°C yang dipilih satu nilai Kp yang menunjukan respon sistem dengan osilasi kontiniu yang memnuhi syarat untuk dilanjutkan untuk mendapatkan nilai kontroler dengan menggunakan tetapan empiris masing-masing metode. Nilai $K_u=1.2$ adalah nilai Kp nilai $P_u=24$. Selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan metode ZN dan TL dengan menggunakan harga K_u dan P_u yang telah ditentukan seperti yang ditunjukan Tabel 4.11 dan Tabel 4.12.

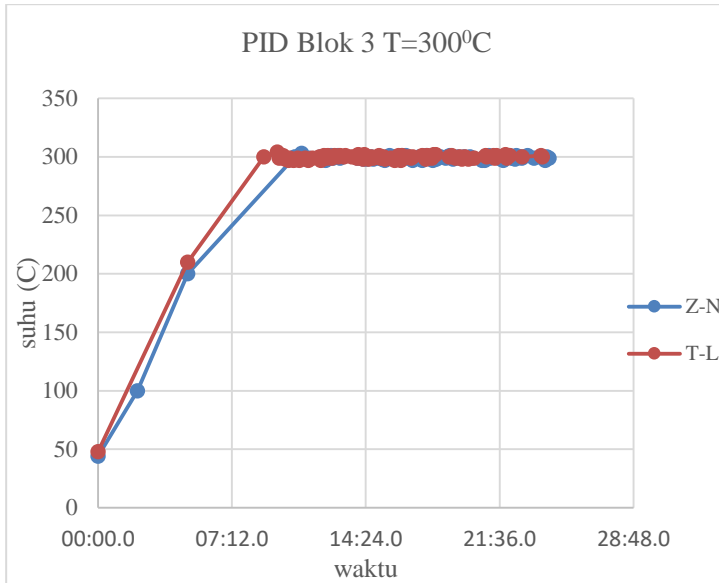
Tabel 4. 11 Perhitungan metode Z-N PID blok 3 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=1.2$ dan $P_u 24$

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	0.6	0	-
PI	0.54	20	-
PID	0.72	12	3

Tabel 4. 12 Perhitungan metode T-L PID blok 3 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=1.2$ dan $P_u 24$

Pengendali	K_p	T_i	T_d
PI	0.375	52.8	
PID	0.545455	52.8	3.809524

Setelah nilai kontroler PID pada masing-masing metode didapatkan, hasil variabel kontrol PID yang didapatkan dari perhitungan seperti yang ditunjukkan Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 kemudian dilakukan pengujian dengan nilai PID tersebut sebagai input pada sistem untuk mendapatkan respon sistem terbaik.

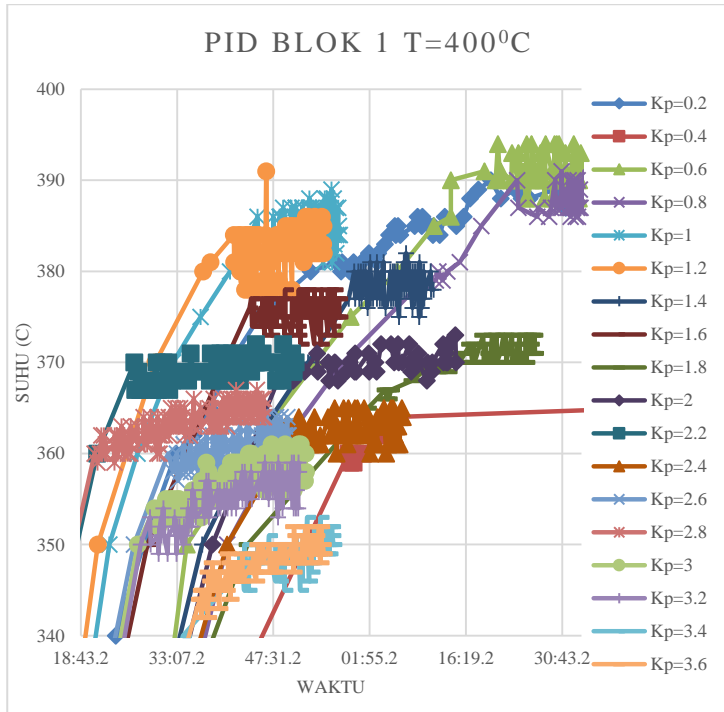


Gambar 4. 12 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 3 $T=300^{\circ}\text{C}$ $K_u=1.2$ dan $P_u 24$

Grafik respon sistem yang ditunjukkan Gambar 4.12 PID blok 3 pada suhu 300°C dari perhitungan masing-masing metode Ziegler-Nichols dan Tyreus-Luyben dengan masukan $K_u=1.2$ dan $P_u 24$. Respon sisten hasil masukan dari metode Ziegler-Nichols sitem mencapai *rise time* selama 10 menit 35 detik dan mempunyai *overshoot* 303. Sistem mengalami *setling time* pada 11 menit 1 detik dengan *error stady-state* sebesar 0-1%. Hasil masukan dari perhitungan metode Tyreus-Luyben dengan hasil *rise time* (waktu naik) 8 menit 55 detik. *Overshoot* sistem sebesar 304. *Setling time* atau sistem mengalami keadaan *error stady-state* pada waktu 9 menit 44 detik dengan *error stady-state* dalam rentang 0-1 %. Dari hasil yang didapatkan hasil terbaik pada PID blok 3 suhu 300°C adalah masukan metode Teyreus-Luyben.

4.3 Analisa Respon Sistem Pada $T=400^{\circ}\text{C}$

4.3.1 PID Blok 1 $T=400^{\circ}\text{C}$



Gambar 4. 13 Grafik respon sistem variasi K_p PID blok 1 $T=400^{\circ}\text{C}$

Dari informasi respon sistem pada Gambar 4.13 didapatkan hasil respon sistem PID blok 1 pada suhu 400°C yang dipilih satu nilai K_p yang menunjukkan respon sistem dengan osilasi kontiniu yang memnuhi syarat untuk dilanjutkan untuk mendapatkan nilai kontroler dengan menggunakan tettapan empiris masing-masing metode. Nilai $K_u=0.4$ adalah nilai K_p nilai $P_u=76$. Selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan metode ZN dan TL dengan menggunakan harga K_u dan P_u yang telah ditentukan seperti yang ditunjukan Tabel 4.13 dan Tabel 4.14.

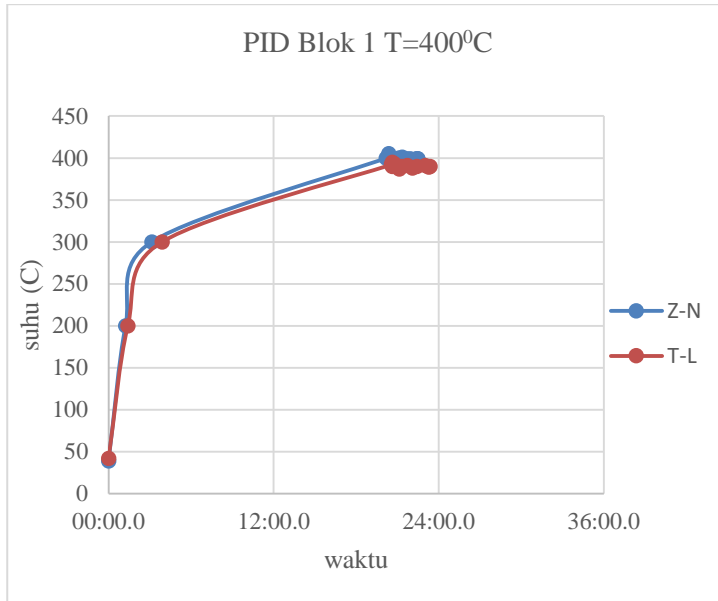
Tabel 4. 13 Perhitungan metode Z-N PID blok 1 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.4$ dan $P_u=76$

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	0.2	0	-
PI	0.18	63.3333333	-
PID	0.24	38	9.5

Tabel 4. 14 Perhitungan metode T-L PID blok 1 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.4$ dan $P_u=76$

Pengendali	K_p	T_i	T_d
PI	0.125	167.2	
PID	0.181818	167.2	12.06349

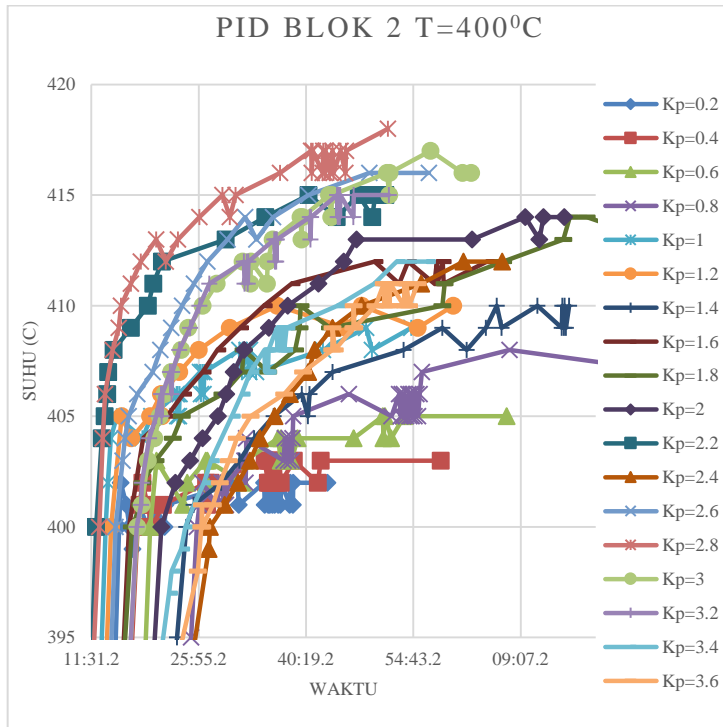
Setelah nilai kontroler PID pada masing-masing metode didapatkan, hasil variabel kontrol PID yang didapatkan dari perhitungan seperti yang ditunjukkan Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 kemudian dilakukan pengujian dengan nilai PID tersebut sebagai input pada sistem untuk mendapatkan respon sistem terbaik.



Gambar 4. 14 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 2 blok 1 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.4$ dan $P_u=76$

Grafik respon sistem yang ditunjukkan Gambar 4.14 adalah respon sistem yang dihasilkan PID blok 1 pada suhu 400°C dari perhitungan masing-masing metode Ziegler-Nichols dan Tyreus-Luyben dengan masukan 400°C $K_u=0.4$ dan $P_u=76$. Dari grafik didapatkan yang menghasilkan respon sistem dan kestabilan sistem paling baik adalah masukan dari perhitungan metode Ziegler-Nichols dengan hasil *rise time* (waktu naik) 1 jam 6 menit 6 detik. *Overshoot* sistem sebesar 405. *Setling time* atau sistem mengalami keadaan *error stady-state* pada waktu 1 jam 3 menit 12 detik dengan *error stady-state* dalam rentang 0-1%. Sedangkan hasil masukan dari metode Tyreus-Luyben sistem tidak mencapai *rise time* dan tidak terjadi *overshoot*. Sistem pada waktu 1 jam 3 menit 17 detik sudah mengalami *setling time* dengan *error stady-state* sebesar 2.5 %.

4.3.2 PID Blok 2 $T=400^{\circ}\text{C}$



Gambar 4. 15 Grafik respon sistem variasi K_p PID blok 2 $T=400^{\circ}\text{C}$
 $K_u=0.4$ dan $P_u=76$

Dari hasil respon sistem pada Gambar 4.15 didapatkan PID blok 2 pada suhu 400°C diatas yang dipilih satu nilai K_p yang menunjukan respon sistem dengan osilasi kontiniu yang memnuhi syarat untuk dilanjutkan untuk mendapatkan nilai kontroler dengan menggunakan tetapan empiris masing-masing metode. Nilai $K_u=0.2$ adalah nilai K_p nilai $P_u=213$. Selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan metode ZN dan TL dengan menggunakan harga K_u dan P_u yang telah ditentukan seperti yang ditunjukan Tabel 4.15 dan Tabel 4.16.

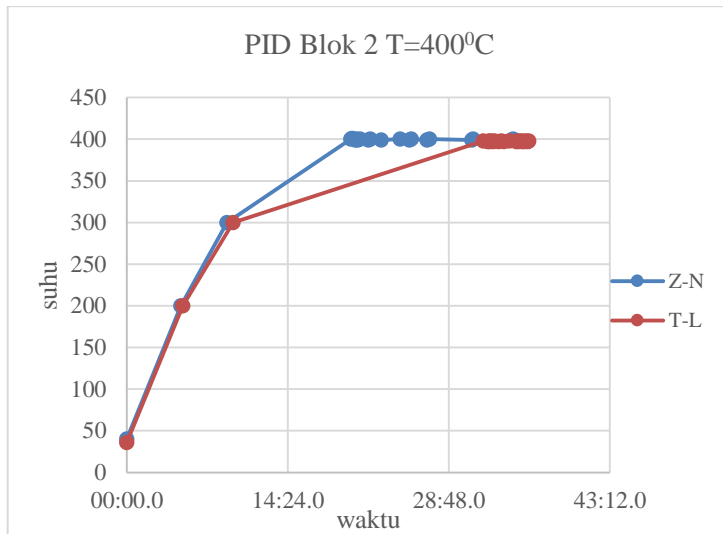
Tabel 4. 15 Perhitungan metode Z-N PID blok 2 $T=400^{\circ}\text{C}$
 $K_u=0.2$ dan P_u 213

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	0.1	0	-
PI	0.09	177.5	-
PID	0.12	106.5	26.625

Tabel 4. 16 Perhitungan metode T-L PID blok 2 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.2$ dan
 P_u 213

Pengendali	K_p	T_i	T_d
PI	0.0625	468.6	
PID	0.090909	468.6	33.80952

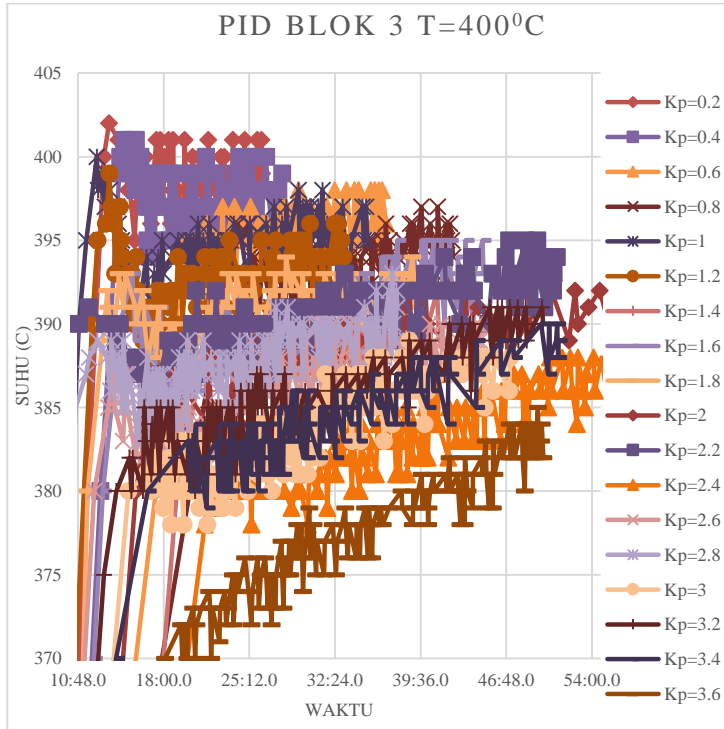
Setelah nilai kontoler PID pada masing-masing metode didapatkan, hasil variabel kontrol PID yang didapatkan dari perhitungan seperti yang ditunjukkan Tabel 4.15 dan Tabel 4.17 kemudian dilakukan pengujian dengan nilai PID tersebut sebagai input pada sistem untuk mendapatkan respon sistem terbaik.



Gambar 4. 16 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 2 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.2$ dan P_u 213

Grafik respon sistem yang ditunjukkan Gambar 4.16 adalah respon sistem yang dihasilkan PID blok 2 pada suhu 400°C dari perhitungan masing-masing metode Ziegler-Nichols dan Tyreus-Luyben dengan masukan 400°C $K_u=0.2$ dan P_u 213. Dari grafik didapatkan yang menghasilkan respon sistem dan kestabilan sistem paling baik adalah masukan dari perhitungan metode Ziegler-Nichols dengan hasil *rise time* (waktu naik) 20 menit 1 detik. *Overshoot* sistem sebesar 401. *Settling time* atau sistem mengalami keadaan *error steady-state* pada waktu 20 menit 18 detik dengan *error steady-state* dalam rentang 0-0.25 %. Sedangkan hasil masukan dari metode Tyreus-Luyben sistem tidak mencapai *rise time* dan tidak terjadi *overshoot*. Sistem pada waktu 31 menit 52 detik sudah mengalami *settling time* dengan *error steady-state* sebesar 0.75%.

4.3.3 PID Blok 3 $T=400^{\circ}\text{C}$



Gambar 4. 17 Grafik respon sistem variasi K_p PID blok 3 $T=400^{\circ}\text{C}$

Dari hasil respon sistem pada Gambar 4.17 PID blok 3 pada suhu 400 yang dipilih satu nilai K_p yang menunjukkan respon sistem dengan osilasi kontiniu yang memnuhi syarat untuk dilanjutkan untuk mendapatkan nilai kontroler dengan menggunakan tettapan empiris masing-masing metode. Nilai $K_u=0.6$ adalah nilai K_p nilai $P_u=44$. Selanjutnya dilakukan perhitungan menggunakan metode ZN dan TL dengan menggunakan harga K_u dan P_u yang telah ditentukan seperti yang ditunjukan Tabel 4.17 dan Tabel 4.18.

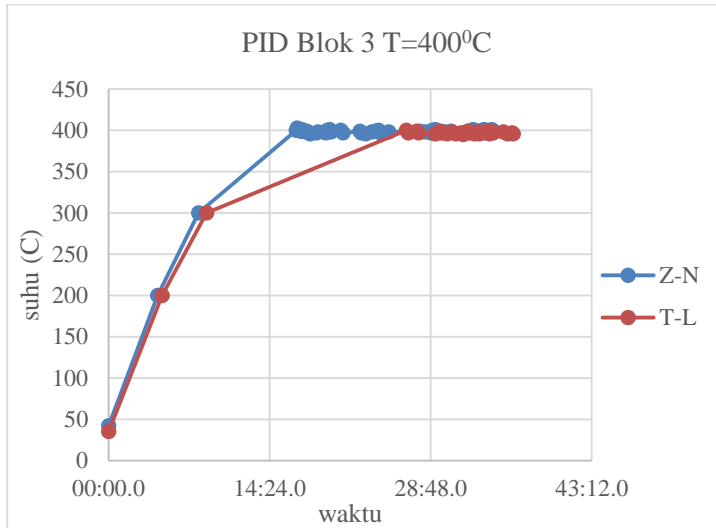
Tabel 4. 17 Perhitungan metode Z-N PID blok 3 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.6$ dan $P_u=44$

Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	0.3	0	-
PI	0.27	36.6666667	-
PID	0.36	22	5.5

Tabel 4. 18 Perhitungan metode T-L PID blok 3 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.6$ dan $P_u=44$

Pengendali	K_p	T_i	T_d
PI	0.1875	96.8	
PID	0.272727	96.8	6.984127

Setelah nilai kontroler PID pada masing-masing metode didapatkan, hasil variabel kontrol PID yang didapatkan dari perhitungan seperti yang ditunjukkan Tabel 4.17 dan Tabel 4.18 kemudian dilakukan pengujian dengan nilai PID tersebut sebagai input pada sistem untuk mendapatkan respon sistem terbaik.



Gambar 4. 18 Grafik perbandingan respon metode Z-N dan T-L PID blok 3 $T=400^{\circ}\text{C}$ $K_u=0.6$ dan $P_u=44$

Grafik respon sistem yang ditunjukkan Gambar 4.18 adalah respon sistem yang dihasilkan PID blok 3 pada suhu 400°C dari perhitungan masing-masing metode Ziegler-Nichols dan Tyreus-Luyben dengan masukan 400 $K_u=0.6$ dan $P_u=44$. Dari grafik didapatkan yang menghasilkan respon sistem dan kestabilan sistem paling baik adalah masukan dari perhitungan metode Ziegler-Nichols dengan hasil *rise time* (waktu naik) 16 menit 46 detik. *Overshoot* sistem sebesar 403. *Setling time* atau sistem mengalami keadaan *error steady-state* pada waktu 17 menit 10 detik dengan *error steady-state* dalam rentang 0-1 %. Sedangkan hasil masukan dari metode Tyreus-Luyben sistem mencapai *rise time* 26 menit 37 detik dan tidak terjadi *overshoot*. Sistem pada waktu 26 menit 48 detik sudah mengalami *setling time* dengan *error steady-state* sebesar 1.25 %.

4.4 Pembahasan

Pada penelitian dilakukan optimasi *Furnace* yang terdapat pada Laboratorium Instrumentasi Elektronika Departemen Fisika ITS dengan sistem kontrol PID untuk mendapatkan respon sistem yang cepat dan kestabilan sistem yang baik. Pada penelitian ini dilakukan optimasi sistem kontrol PID untuk mendapatkan Variabel kontrol setiap kontroler pada pengoperasiannya untuk menghemat waktu dalam mencari variabel kontrol terbaik dan efisien.

Pada *Furnace* ini digunakan termokopel tipe R . termokopel memiliki komposisi konduktor penyusun termokopel tipe R adalah platinum-13% rhodium yang dipadukan dengan platinum. Untuk konduktor positif terdiri dari $13 \pm 0,05\%$ rhodium yang memiliki kemurnian $\geq 99,98\%$ dan platinum dengan kemurnian $\geq 99,99\%$. Sedangkan pada konduktor negatif terdiri atas logam platinum dengan kemurnian 99,99%. Termokopel tipe R mampu membaca suhu mulai dari suhu 0°C sampai suhu mendekati titik leleh platinum yaitu 1769°C . Pada termokopel tipe R, *error* pengukuran lebih kecil sebesar 12,5% sampai 14% karena termokopel tipe R memiliki koefisien seebeck lebih besar sekitar 12,5% daripada koefisien seebeck termokopel tipe S. Sehingga pada penelitian ini termokopel tipe R lebih dipilih daripada termokopel tipe S meskipun kestabilannya sama.

Furnace memiliki prinsip kerja memanaskan material yang telah dimasukkan ke dalam ruang pemanas *furnace*. Ketika elemen pemanas diberikan sumber tegangan maka elemen pemanas akan menjadi panas dan kemudian panas akan merambat menuju material yang dipanaskan secara radiasi. Elemen pemanas adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja dari elemen pemanas sendiri adalah arus listrik yang mengalir pada elemen yang memiliki resistansi tertentu, sehingga elemen menghasilkan panas. Kriteria elemen pemanas yang baik adalah elemen pemanas yang memiliki tahan lama pada suhu yang dikehendaki, sifat mekanisme kuat pada suhu yang dikehendaki memiliki koefisien

muai harus kecil, sehingga perubahan bentuknya pada suhu yang dikehendaki tidak terlalu besar, tahanan jenisnya harus tinggi dan memiliki koefisien suhunya harus kecil, sehingga arus kerjanya sedapat mungkin konstan. Pada *furnace* ini digunakan elemen pemanas jenis Nikelin (nikel/chromium alloy) yang berukuran diameter 1,5 mm, memiliki *heating maks* 1300°C serta mempunyai titik lebur 1400°C.

Rockwool dan *insulating brick* C1 dengan ukuran 230 × 114 × 65 mm digunakan untuk menahan dan menjaga panas yang dihasilkan elemen pemanas supaya tidak terbuang. Insulator untuk dinding eksternal dari berbagai tungku karena *insulating brick* C1 bisa menahan suhu panas sampai 1300°C dan ketahanan panas yang baik bermanfaat untuk mengurangi pelepasan panas.

Sistem Kontrol PID merupakan kontroler untuk menentukan kepresisian suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik/*feedback* pada sistem tersebut. Sistem kontrol PID terdiri dari tiga komponen, yaitu kontrol *Proportional* (P), kontrol *Integral* (I) dan kontrol *Derivative* (D). Kontrol proporsional berperan mengendalikan respon dengan cepat untuk mencapai keadaan yang *steady*. Kontrol *Integral* berperan dalam meredam *overshoot* ketika mencapai keadaan *steady*. Kontrol *derivative* berperan untuk membuat sistem lebih stabil. Metode coba-coba atau *trial & error* sering digunakan dalam merancang sistem kontrol PID. Metode *trial & error* sangat diperlukan untuk mendapatkan aksi kontrol yang baik. Metode *trial & error* diterapkan dengan mencoba kombinasi antara P, I dan D sampai ditemukan nilai K_p, K_i, dan K_d seperti yang diinginkan dan sampai mendapatkan *rise time* dan *settling time* yang cepat, *error* dan *overshoot* yang kecil.

Pada sistem kontrol PID ada beberapa metode yang digunakan untuk membantu mendapatkan nilai masing-masing kontroler yang sering digunakan.

- Metode Cohen-Coon (*Open-loop Test*)
- Metode Ziegler-Nichols (*Open-loop Test and Closed-*

loop P-ControlTest)

- Metode Tyreus-Luyben (*Closed-loop P-Control test*)
- Metode Autotune (*Closed-loop On-Off test*)

Furnace yang akan dioptimasi ini memiliki rangkaian sistem loop tertutup. Dari metode diatas yang bisa digunakan pada penelitian ini adalah metode Ziegler-Nichols (*Closed-loop P-Control Test*) dan Metode Tyreus-Luyben. Kedua metode ini memiliki kesamaan yaitu digunakan pada sistem loop tertutup dan melakukan percobaan dengan bervariasi kontrol proporsional saja sedangkan kontrol *Integral* dan *Derivatif* di *off* kan. Pada penelitian optimasi menggunakan metode ini dibagi menjadi dua percobaan. Yang pertama melakukan variasi kontrol proporsional hingga osilasi periodik berkelanjutan dan dicatat K_u dan P_u . K_u adalah nilai K_p pada respon sistem yang mengalami osilasi periodik dan P_u adalah waktu periodik osilasi dari respon sistem tersebut. Setelah didapatkan nilai K_u dan P_u dilakukan evaluasi parameter kontrol seperti dengan tetapan empiris masing-masing metode, metode Ziegler-Nichols dan metode Tyreus-Luyben. Selanjutnya hasil variabel baru yang didapatkan pada perhitungan dari masing-masing metode dilakukan pengujian untuk mendapatkan respon sistem yang terbaik.

Pengujian kontroler proporsional dilakukan percobaan dengan metode coba-coba dengan variasi $K_p=0.2$ sampai $K_p=3.6$ pada masing-masing blok PID. PID yang digunakan pada *Furnace* ini ada 3 yang terdapat pada masing-masing blok PID. Optimasi dilakukan pada variasi suhu 200°C , 300°C dan 400°C , variasi K_p digunakan pada masing-masing suhu.

Pemilihan K_p terbaik dilakukan pada rentang masukan K_p seperti Tabel 4.19 berikut ini pada suhu 200°C .

Tabel 4. 19 Pemilihan K_u dan P_u pada $T=200^{\circ}\text{C}$

200	K_u	P_u
Blok 1	0.2	132

Blok 2	0.6	180
Blok 3	0.4	21

Dari hasil respon K_p yang didapatkan dipilih K_p terbaik seperti yang ditunjukkan Tabel 4.19 untuk suhu 200°C . Pada rentang $K_p=0.2$ sampai $K_p=1.0$ respon sistem pada setiap blok PID relatif sama dan mencapai set point serta mengalami osilasi yang mendakati kontinui. Pada suhu 200°C K_p besar dari 1.0 memiliki respon sistem dengan osilasi yang tidak teratur dan tidak mencapai set point.

Pemilihan K_p terbaik dilakukan pada rentang masukan K_p seperti Tabel 4.20 berikut ini pada suhu 300°C .

Tabel 4. 20 Pemilihan K_u dan P_u pada $T=300^{\circ}\text{C}$

300	K_u	P_u
Blok 1	0.8	22
Blok 2	0.8	320
Blok 3	1.2	24

Dari hasil respon K_p yang didapatkan dipilih K_p terbaik seperti yang ditunjukkan Tabel 4.20 untuk suhu 300°C . Hasil respon sistem terhadap variasi K_p pada suhu 300°C respon sistem yang dihasilkan mengalami perbedaan respon pada masukan K_p yang sama. Pada suhu 300°C respon sistem dari blok PID 1 lebih lama dari respon PID blok 2 dan PID blok 3 dalam mencapai *setpoint*. Respon sistem dari PID blok 3 lebih stabil dan lebih cepat dari dua PID lainnya dalam mencapai *setpoint*. Sedangkan PID blok 2 dalam mencapai *setpoint* relatif stabil tetapi osilasi sistem membutuhkan waktu yang lama dibandingkan PID blok lain.

Pemilihan K_p terbaik dilakukan pada rentang masukan K_p seperti Tabel 4.21 berikut ini pada suhu 400°C .

Tabel 4. 21 Pemilihan K_u dan P_u pada $T=400^{\circ}\text{C}$

400	K_u	P_u
Blok 1	0.4	76
Blok 2	0.2	213
Blok 3	0.6	44

Dari hasil respon K_p yang didapatkan dipilih K_p terbaik seperti yang ditunjukkan Tabel 4.21 untuk suhu 400°C . Pada suhu 400°C respon sistem pada setiap blok PID mengalami respon yang sangat berbeda pada masukan K_p yang sama. Respon sistem dari blok PID 1 ketika $K_p=0.2$ sangat lama untuk mencapai set point dan waktu yang dibutuhkan sistem berisolasi juga sangat lama dari respon PID blok 2 dan PID blok 3. Hal ini sesuai dengan hasil dari penelitian sebelumnya yang dilakukan pengujian pada PID blok ini mempunyai respon sistem yang lama. Respon sistem dari PID blok 3 cenderung lebih stabil dari dua PID lainnya dalam mencapai *setpoint*. Sedangkan PID blok 2 dalam mencapai *setpoint* relatif stabil tetapi osilasi sistem membutuhkan waktu yang lama dibandingkan PID blok lain hal ini bias dilihat dari hasil P_u yang didapatkan pada PID blok 2 ini.

Setelah mendapatkan K_p terbaik dan menentukan nilai K_u dan P_u , nilai tersebut digunakan untuk mendapatkan variabel kontroler PID menggunakan metode Ziegler-Nichols dan metode Tyreus-Luyben. Setelah mendapatkan nilai masing-masing kontroler dilakukan pengujian untuk mendapatkan optimasi terbaik pada masing masing suhu yang di optimasi penggunaannya.

Pada suhu 200°C setelah dilakukan pengujian didapatkan variabel kontrol yang baik seperti yang Tabel 4.22

Tabel 4. 22 Variabel kontrol PID pada $T=200^{\circ}\text{C}$

200	Kp	Ti	Td
Blok 1	0.12	66	16.5
Blok 2	0.28	396	28.5
Blok 3	0.18	46.2	3.3

Variabel kontrol PID blok 1 yang terbaik didapatkan dari metode perhitungan Ziegler-nichols dengan respon sistem mencapai *setpoint* membutuhkan waktu terbaik selama 6 menit 14 detik, mempunyai *overshoot* 203, *settling time* atau waktu yang dibutuhkan untuk sistem stabil dalam kondisi *error steady-state* membutuhkan waktu 10 menit 3 detik dan memiliki *error steady-state* sebesar 1,5 %. Variabel kontrol PID blok 2 yang terbaik didapatkan dari metode perhitungan Tyreus-Luyben dengan respon sistem mencapai *setpoint* membutuhkan waktu terbaik selama 5 menit 9 detik, mempunyai *overshoot* 208, *settling time* atau waktu yang dibutuhkan untuk sistem stabil dalam kondisi *error steady-state* membutuhkan waktu 11 menit 56 detik dan memiliki *error steady-state* sebesar 1,5 %. Variabel kontrol PID blok 3 yang terbaik didapatkan dari metode perhitungan Tyreus-Luyben dengan respon sistem mencapai *setpoint* membutuhkan waktu terbaik selama 4 menit 58 detik, mempunyai *overshoot* 210, *settling time* atau waktu yang dibutuhkan untuk sistem stabil dalam kondisi *error steady-state* membutuhkan waktu 10 menit 56 detik dan memiliki *error steady-state* sebesar 1,5 %.

Pada suhu 300°C setelah dilakukan pengujian didapatkan variabel kontrol yang baik seperti yang Tabel 4.23.

Tabel 4. 23 Variabel kontrol PID pada $T=300^{\circ}\text{C}$

300	Kp	Ti	Td
Blok 1	0.48	11	2.75
Blok 2	0.48	160	40
Blok 3	0.54	53	3.8

Untuk PID blok 1 digunakan input variabel dari hasil perhitungan metode perhitungan Ziegler-Nichols. Sistem mencapai *setpoint* dengan waktu terbaik selama 18 menit 17 detik, mempunyai *overshoot* 304, *settling time* atau waktu yang dibutuhkan untuk sistem stabil dalam kondisi *error stady-state* membutuhkan waktu 18 menit 45 detik dan memiliki *error stady-state* sebesar 1%. Untuk PID blok 2 digunakan input variabel dari hasil perhitungan metode perhitungan Ziegler-Nichols. Sistem mencapai *setpoint* dengan waktu terbaik selama 11 menit 12 detik, mempunyai *overshoot* 302, *settling time* atau waktu yang dibutuhkan untuk sistem stabil dalam kondisi *error stady-state* membutuhkan waktu 13 menit 51 detik dan memiliki *error stady-state* sebesar 0,3%. Untuk PID blok 3 digunakan input variabel dari hasil perhitungan metode perhitungan Tyreus-Luyben. Sistem mencapai *setpoint* dengan waktu terbaik selama 8 menit 55 detik, mempunyai *overshoot* 304, *settling time* atau waktu yang dibutuhkan untuk sistem stabil dalam kondisi *error stady-state* membutuhkan waktu 9 menit 44 detik dan memiliki *error stady-state* sebesar 1%.

Pada suhu 400°C setelah dilakukan pengujian didapatkan variabel kontrol yang baik seperti yang Tabel 4.24

Tabel 4. 24 Variabel kontrol PID pada T=400°C

400	Kp	Ti	Td
Blok 1	0.24	38	95
Blok 2	0.12	106.5	26.6
Blok 3	0.24	38	9.5

Untuk PID blok 2 digunakan input variabel dari hasil perhitungan metode perhitungan Ziegler-Nichols. Sistem mencapai *setpoint* dengan waktu terbaik selama 20 menit 1 detik, mempunyai *overshoot* 401, *settling time* atau waktu yang dibutuhkan untuk sistem stabil dalam kondisi *error stady-state* membutuhkan waktu 20 menit 18 detik dan memiliki *error stady-*

state sebesar 0,25%. Untuk PID blok 3 digunakan input variabel dari hasil perhitungan metode perhitungan Ziegler-Nichols. Sistem mencapai *setpoint* dengan waktu terbaik selama 16 menit 46 detik, mempunyai *overshoot* 403, *settling time* atau waktu yang dibutuhkan untuk sistem stabil dalam kondisi *error steady-state* membutuhkan waktu 17 menit 10 detik dan memiliki *error steady-state* sebesar 1%.

Error dari pengukuran suhu yang diukur pada PID jenis digital memiliki ketelitian $\pm 1^{\circ}\text{C}$ untuk setiap suhu yang terukur. Sedangkan untuk waktu yang diukur menggunakan stopwatch jenis digital memiliki ketelitian pengukuran ± 1 detik untuk setiap waktu yang terukur.

Dari hasil penelitian ini didapatkan pengaruh setiap masukan K_p pada setiap suhu yang dioptimasi menunjukkan pengaruh variabel input yang semakin besar maka respon dari sistem pada setiap blok PID semakin tidak stabil dan semakin menurunkan rise time respon sistem dengan osilasi yang tidak teratur dan tidak mencapai set point. Dari setiap optimasi suhu yang dilakukan didapatkan PID blok 3 memiliki respon sistem yang paling baik, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *setpoint* yang diinginkan paling cepat dibandingkan blok lainnya dan kestabilan sistem sangat baik pada setiap suhu. PID blok 2 relatif baik dalam respon sistem mencapai *setpoint* yang diinginkan dan kestabilan sistem juga baik. Respon sistem dari kontrol PID blok 1 pada suhu 200°C dan 300°C relatif baik dalam mencapai set point dan kestabilan sistem pada suhu ini baik, tetapi pada suhu 400°C respon sistem lambat dalam mencapai set point tetapi kestabilan sistem baik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Optimasi *Furnace* dilakukan untuk mencari variabel kontrol PID menggunakan Metode Ziegler-Nichols dan Metode Tyreus-Luyben variasi kontroler P sistem loop tertutup
2. Variabel kontrol PID terbaik untuk $T=200^{\circ}\text{C}$, $T=300^{\circ}\text{C}$ dan 400°C
 - Pada suhu 200°C setelah dilakukan pengujian didapatkan variabel kontrol yang baik untuk PID blok 1 $K_p=0,12$ $T_i=66$ $T_d=16,6$. Untuk PID blok 2 $K_p=0,28$ $T_i=396$ $T_d=28,5$. Untuk PID blok 3 $K_p=0,18$ $T_i=46,2$ $T_d=3,3$.
 - Pada suhu 300°C setelah dilakukan pengujian didapatkan variabel kontrol yang baik untuk PID blok 1 $K_p=0,48$ $T_i=11$ $T_d=2,75$. Untuk PID blok 2 $K_p=0,48$ $T_i=160$ $T_d=40$. Untuk PID blok 3 $K_p=0,54$ $T_i=53$ $T_d=3,8$
 - Pada suhu 400°C setelah dilakukan pengujian didapatkan variabel kontrol yang baik untuk PID blok 1 $K_p=0,24$ $T_i=38$ $T_d=95$. Untuk PID blok 2 $K_p=0,12$ $T_i=106,5$ $T_d=26,6$. Untuk PID blok 3 $K_p=0,24$ $T_i=38$ $T_d=9,5$
 - Dengan setiap hasil dengan ketelitian $\pm 1^{\circ}\text{C}$ untuk pengukuran PID jenis digital
 - Respon sistem ± 1 detik untuk waktu yang terukur

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu :

1. Memvariasikan K_p dengan menggunakan K_p delta 0,1
2. Melanjutkan variasi suhu pada 500°C dan seterusnya untuk pemanfaatan *Furnace* pada suhu yang diinginkan
3. Menggunakan data percobaan optimasi penulis sebagai parameter untuk mendapatkan respon sistem yang lebih baik.

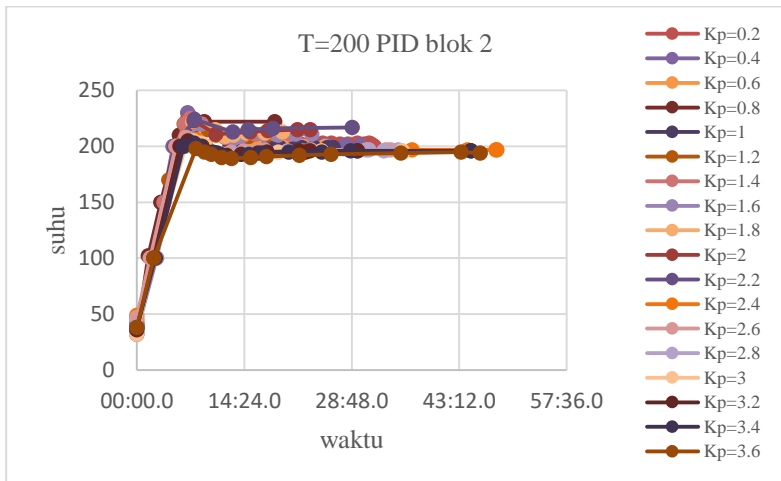
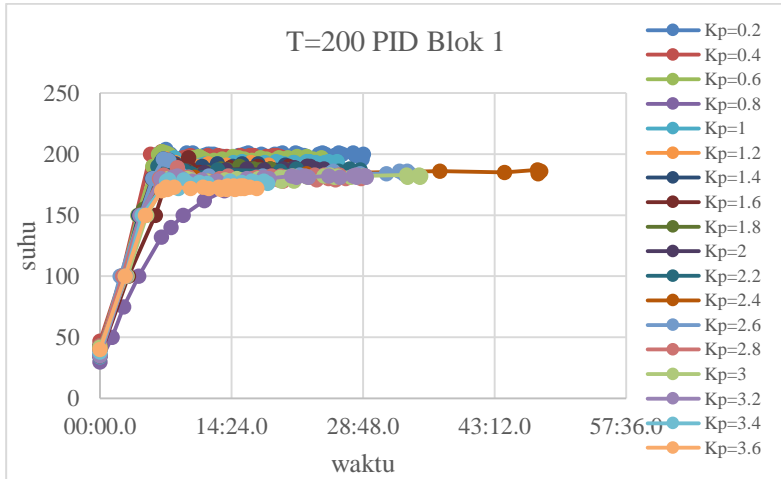
DAFTAR PUSTAKA

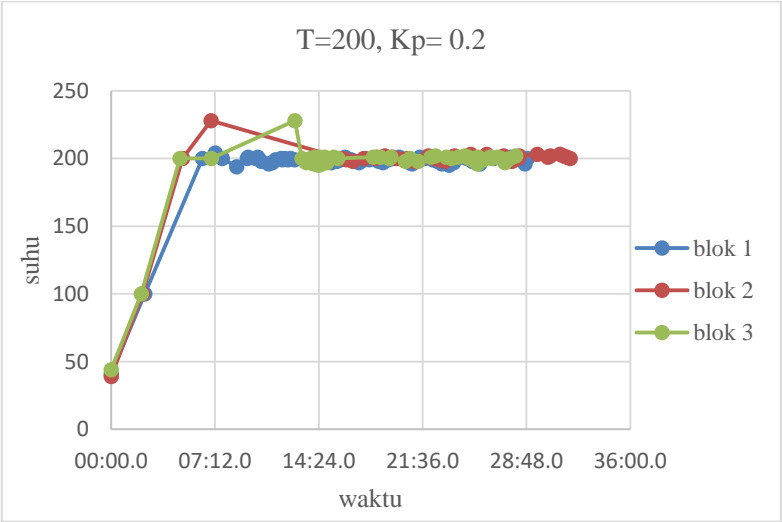
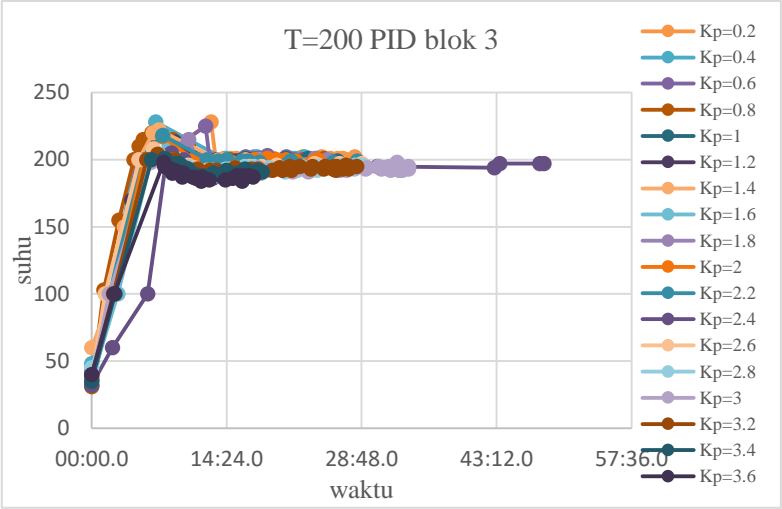
- Ali, M. (2014). *Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID Dengan Software Matlab. Jurnal Edukasi@Elektro Vol. 1*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Amoura, K., Manshouri, R., Bettayeb, M., & Al-Saggaf, U. (2016). Closed-loop step response for tuning PID-fractional-order-filter controllers.
- Fadzli, M. (2006). *COMPARISON BETWEEN ZIEGLER-NICHOLS AND COHEN-COON METHOD FOR CONTROLLER TUNINGS*. Malaysia: University College of Engineering & Technology Malaysia.
- Gopel, W., Zemel, J., & Hesse, J. (1990). *W. Gopel, J. Hesse, and J. Zemel. Sensor. Vol.4: Thermal Sensor. D-6490 Weinheim, Germany: VCH Verlagsgesellschaft mbH.*
- Holman, J. (1994). *Perpindahan Kalor Edisi Keenam, Alih Bahasa Ir. E. Jasjfi, M.Sc.* Jakarta: Erlangga.
- Meyer, W. H. (1972). *A History of Electricity and Magnetism*. Norwalk: Burndy Library.
- Ogata, & Katsuhiko. (1994). *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1, diterjemahkan Edi Leksono*. Jakarta: Erlangga.
- Popong, E. (2007). *Dasar dan Aplikasi Sistem Kontrol dalam Industri*. Politeknik Negeri Malang.
- Popong, E., Gatot, & Hari. (2007). *KARAKTERISASI THERMOCOUPLE DENGAN MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK MATLAB – SIMULINK*. Malang: Politeknik Negeri Malang.
- Rahmat, M. R. (2015). *Perancangan Dan Pembuatan Tungku Heat Treatment. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol 3, No. 2*. Bekasi: Universitas Islam 45 Bekasi.
- Setiawan, I. (2008). *Kontrol PID untuk Proses Industri*. Jakarta: Elex Media Komputerindo.

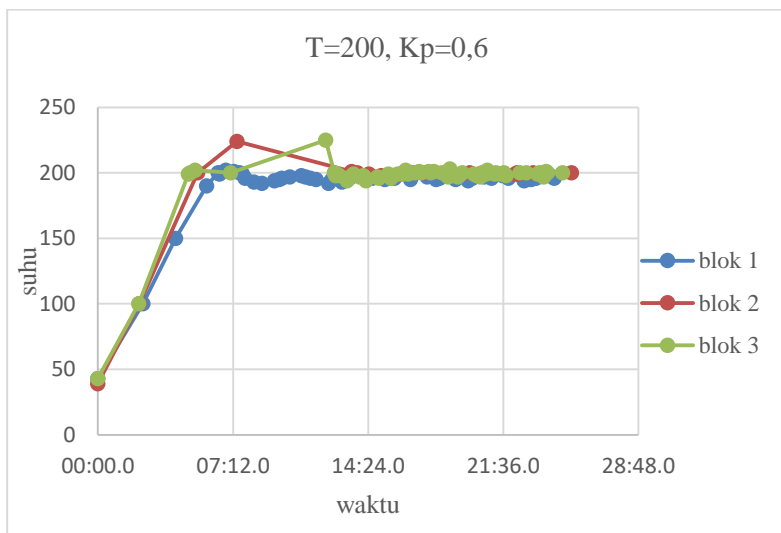
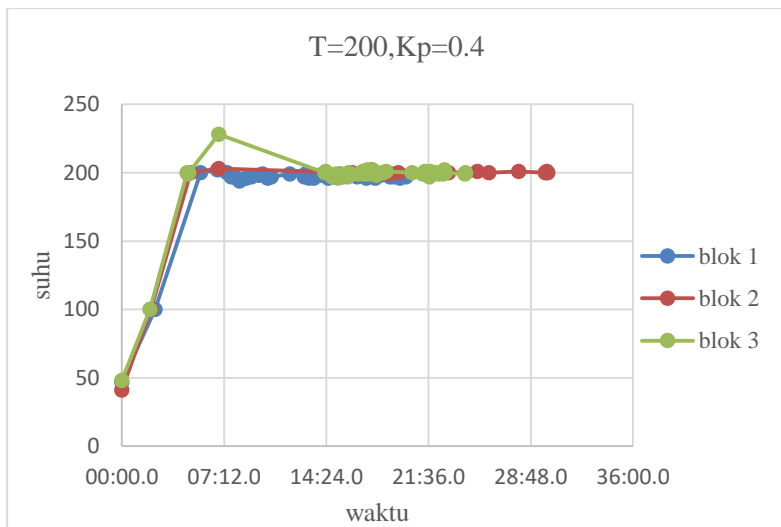
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

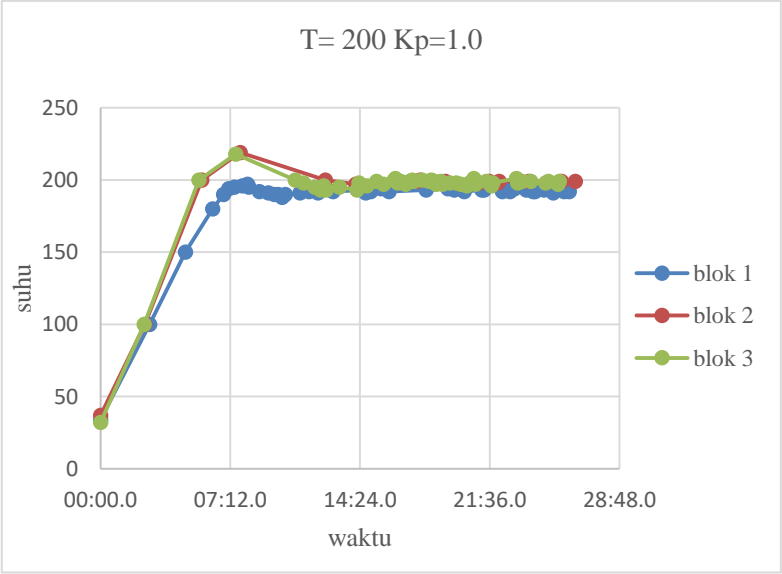
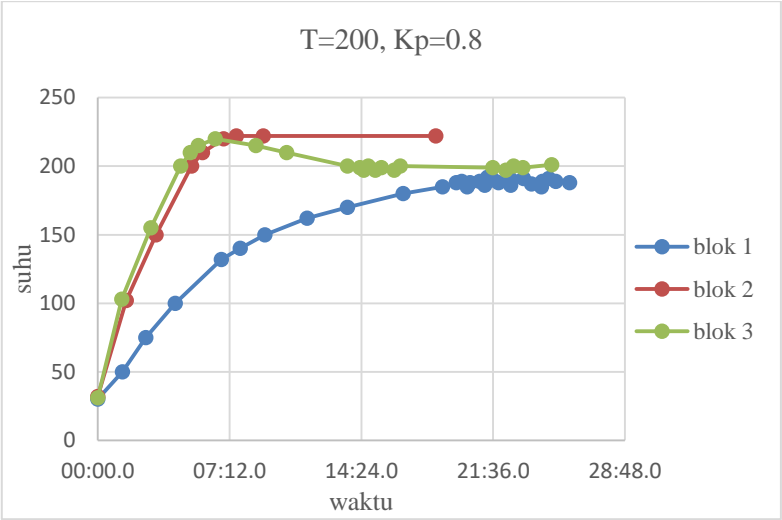
LAMPIRAN

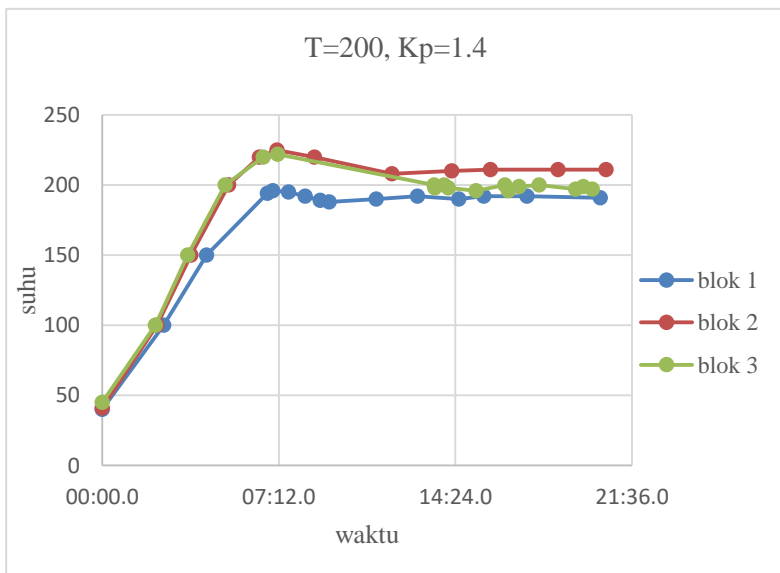
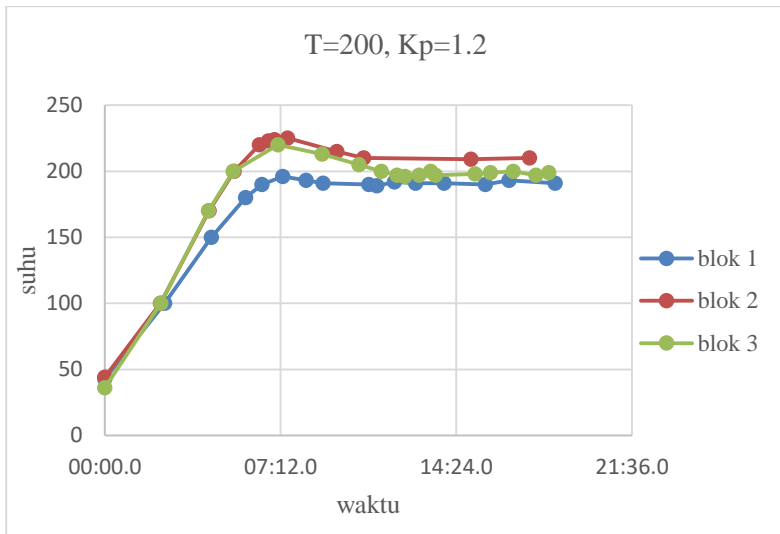
Lampiran 1 Variasi Kp T=200°C

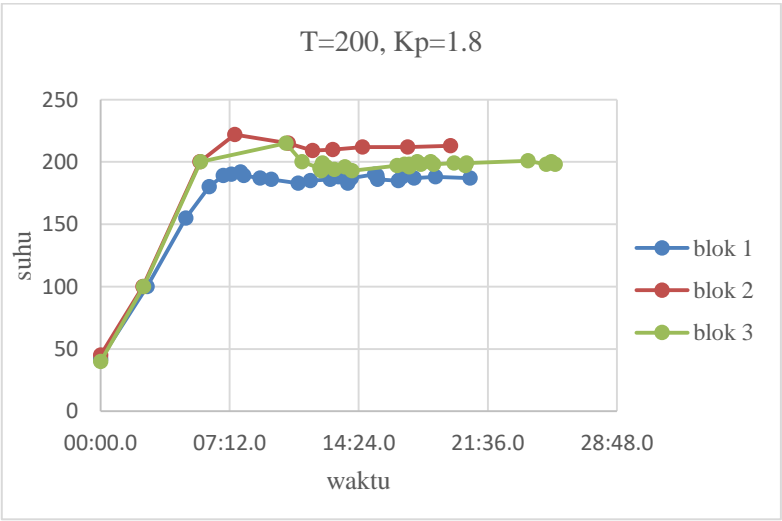
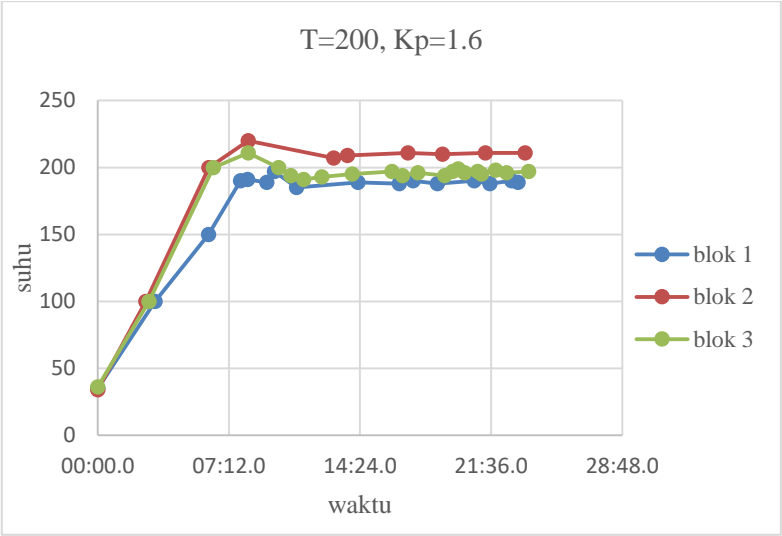


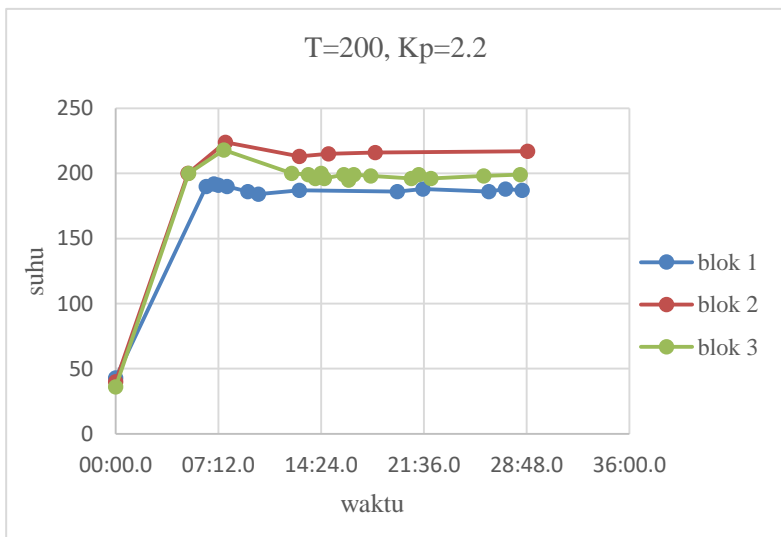
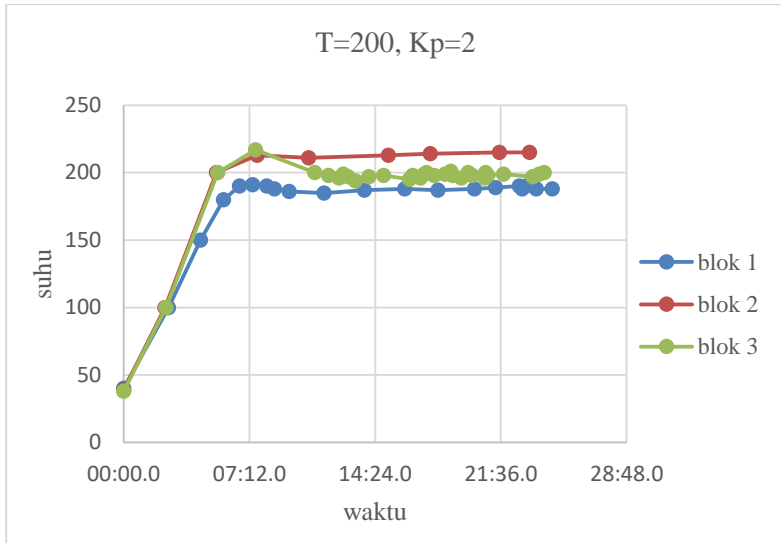


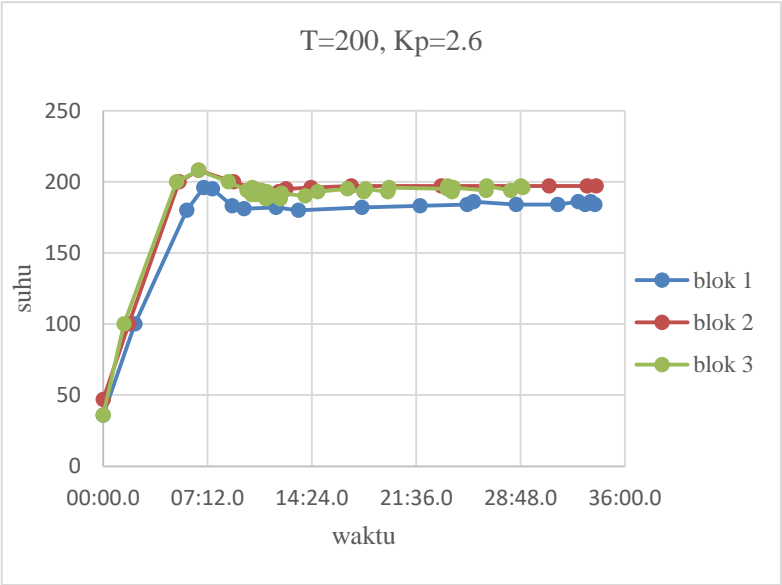
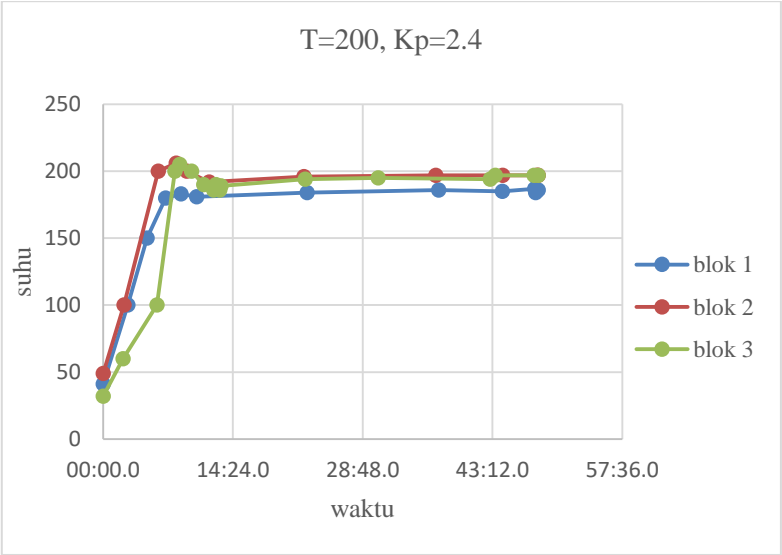


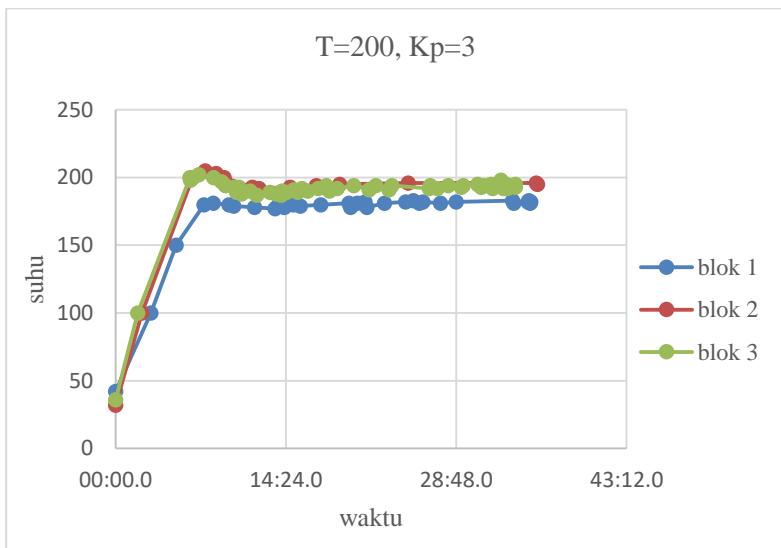
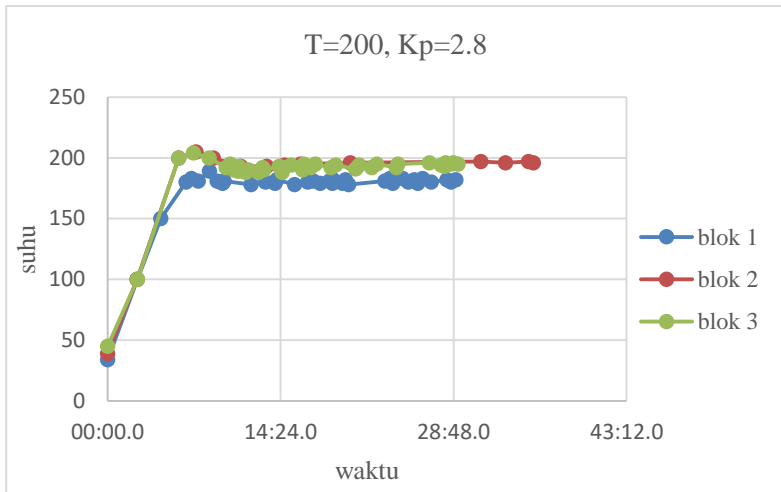


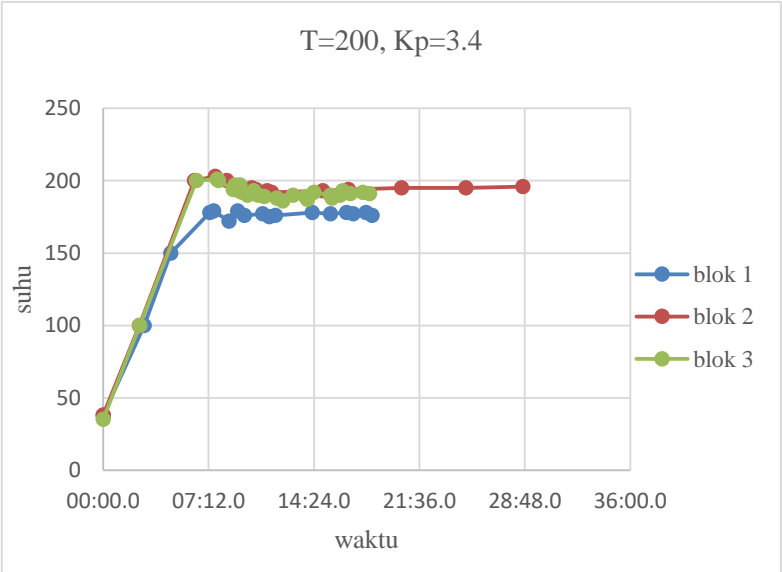
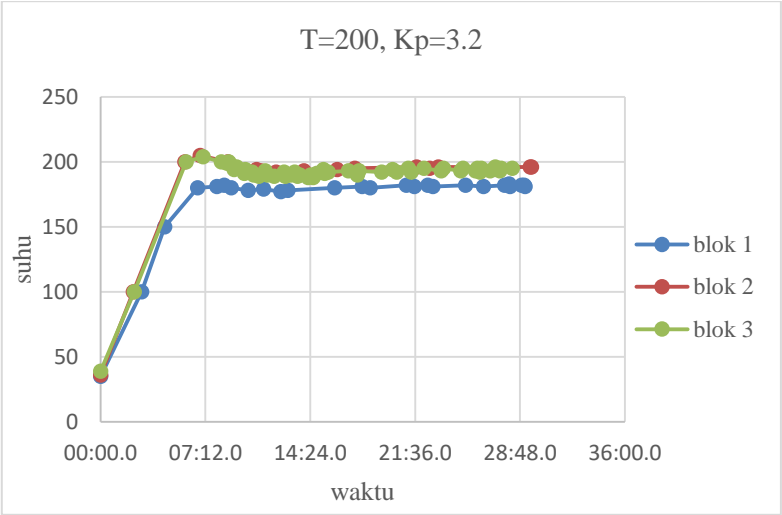


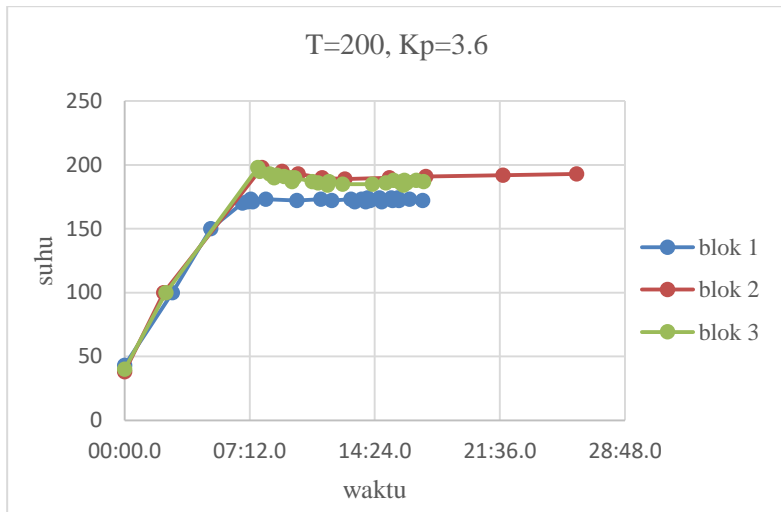




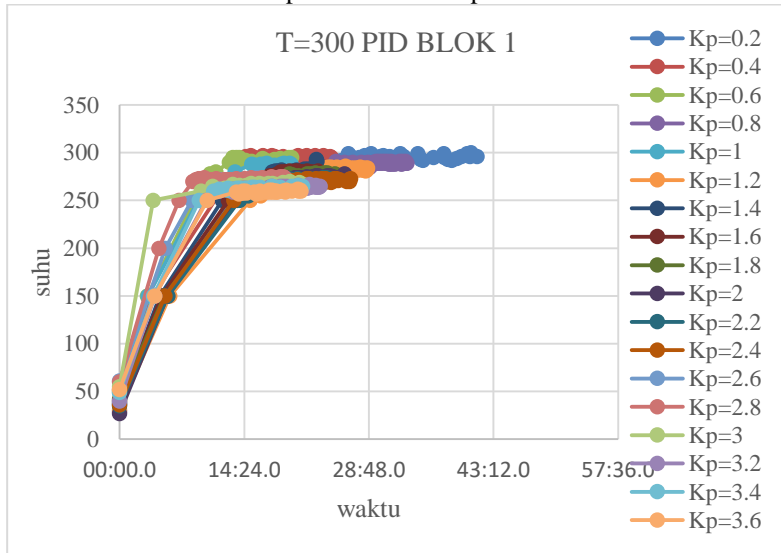


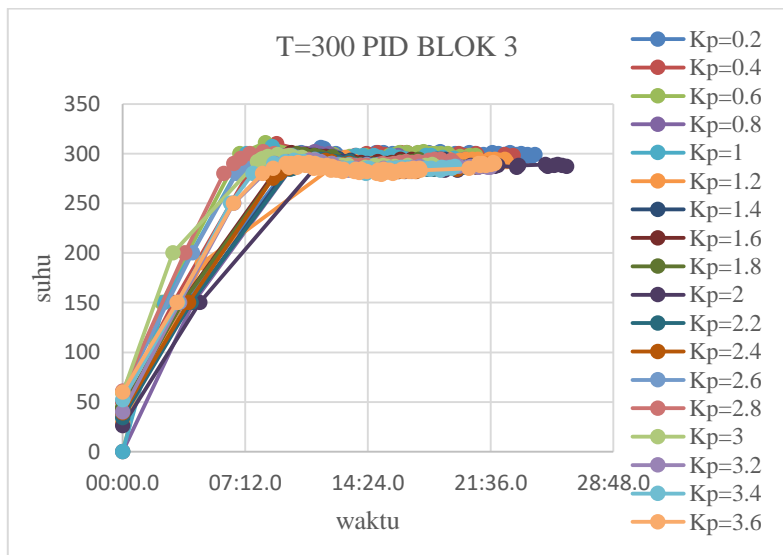
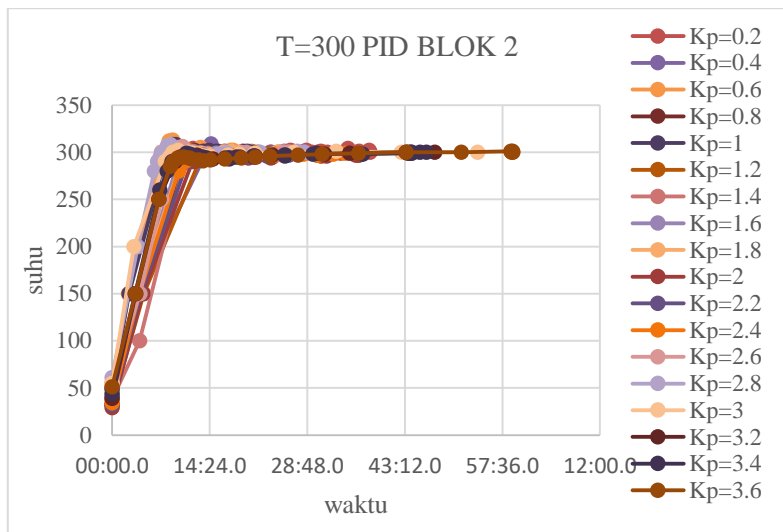


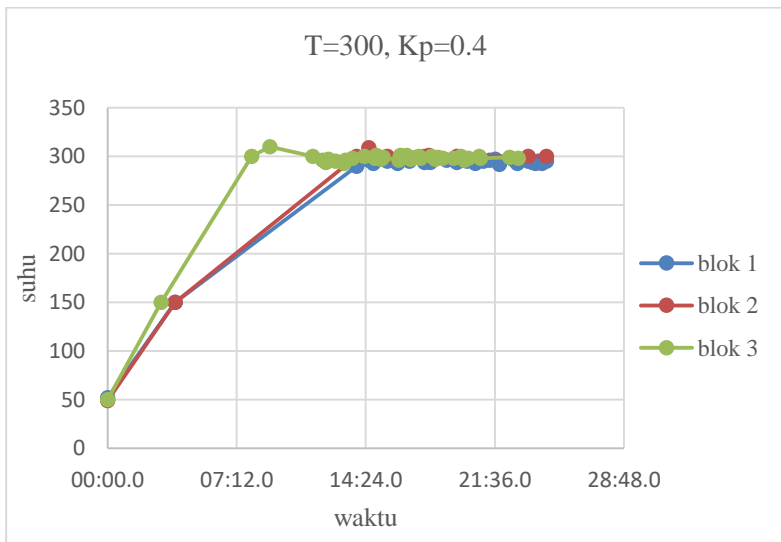
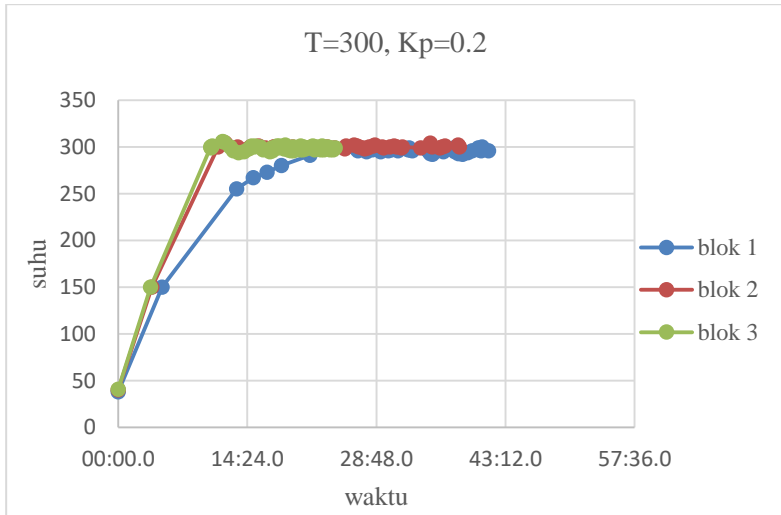


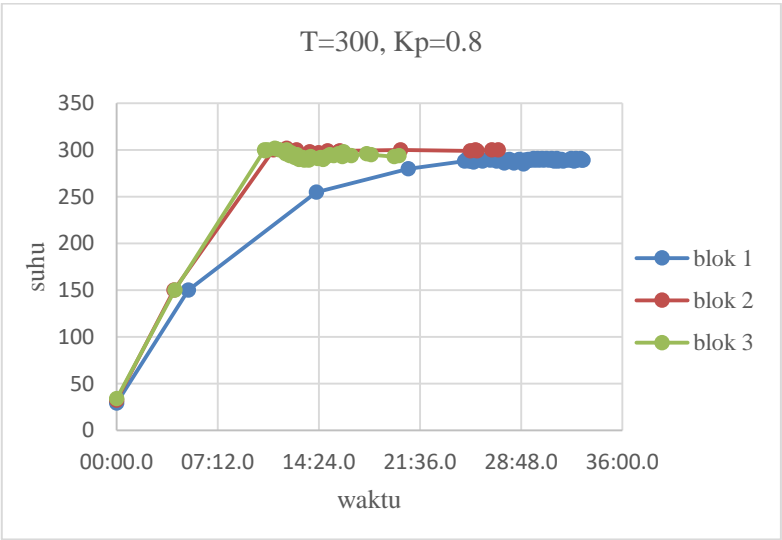
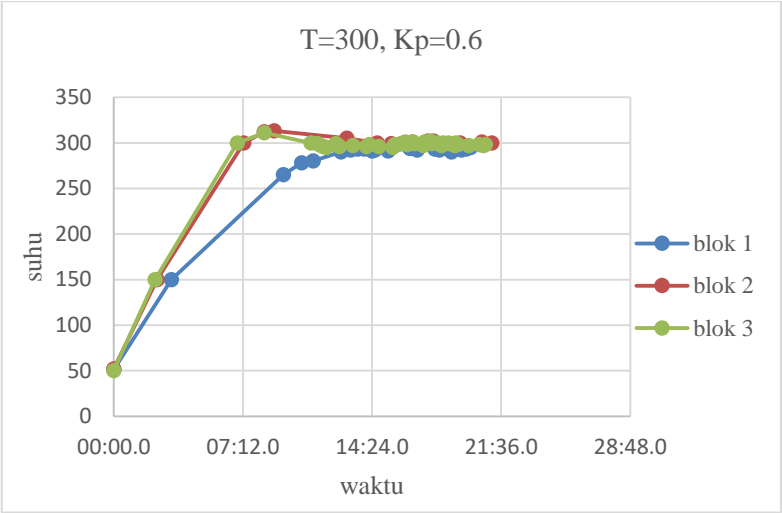


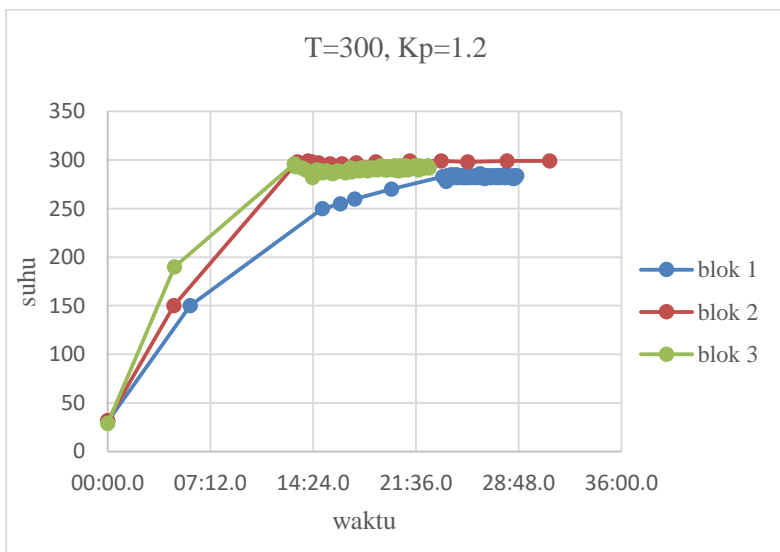
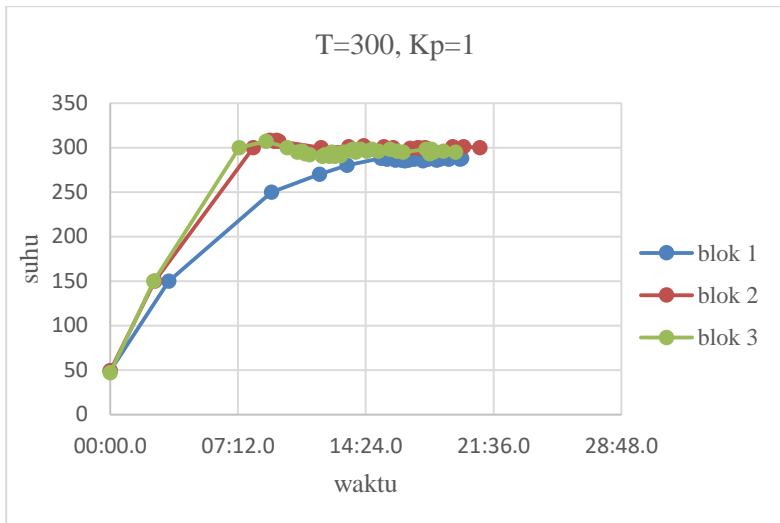
Lampiran 2 Variasi Kp T=300

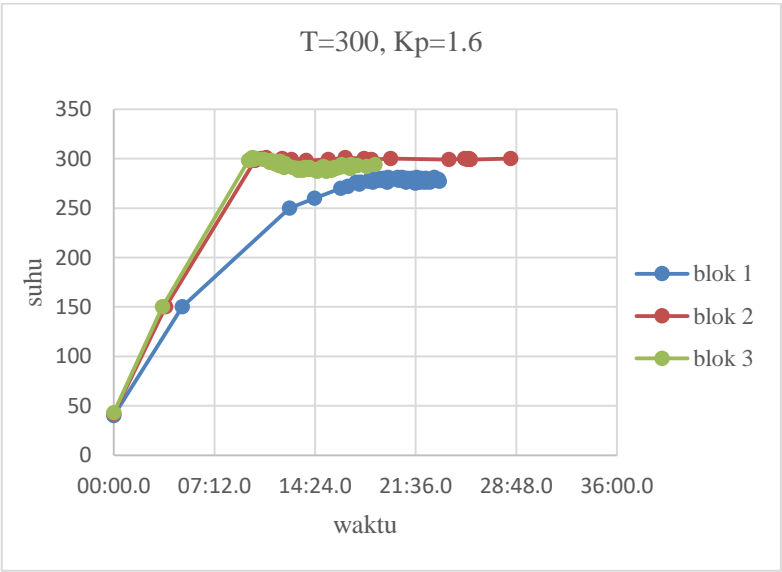
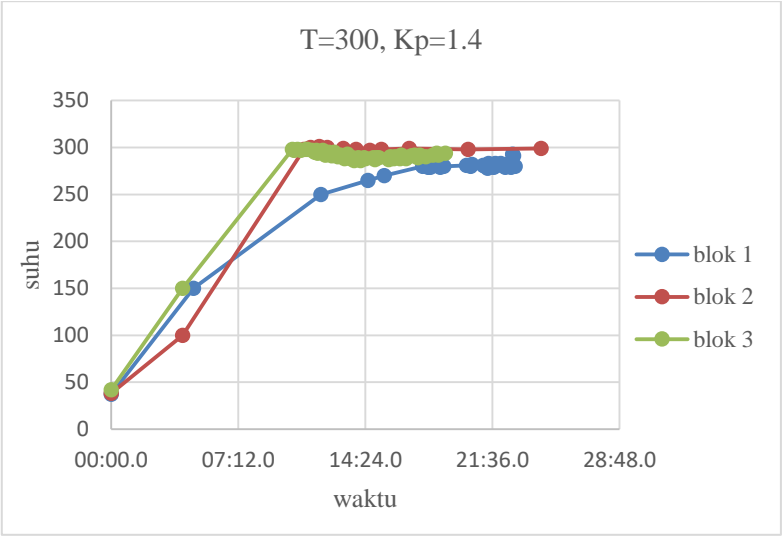


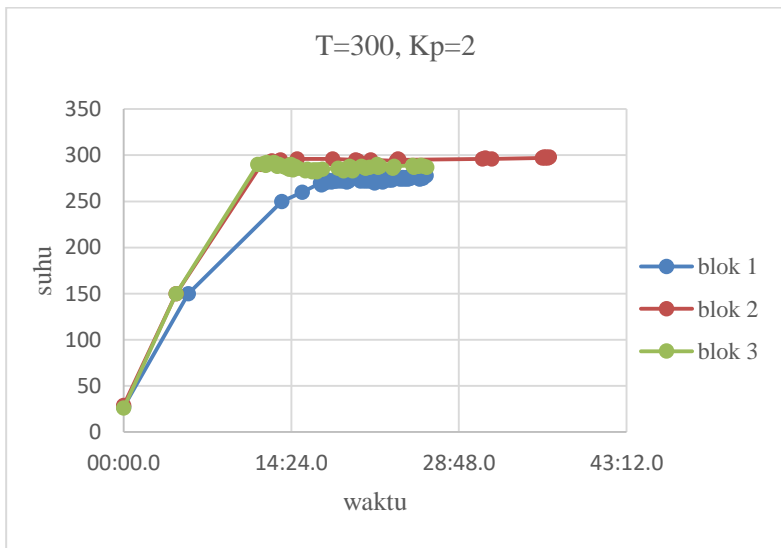
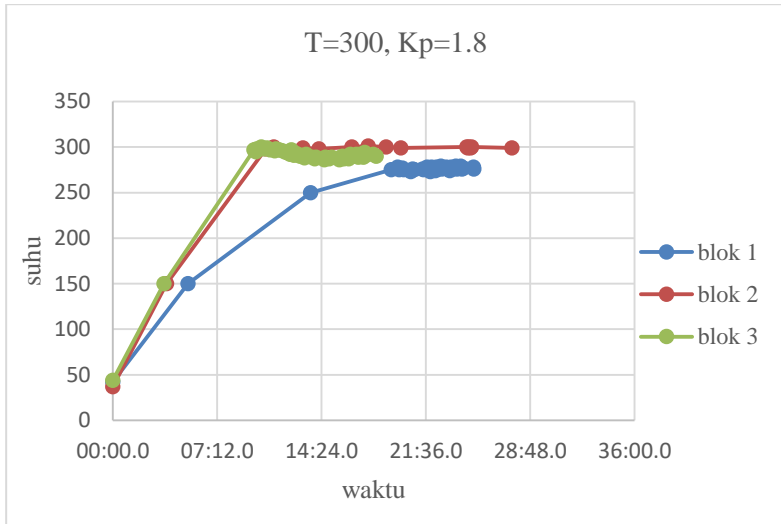


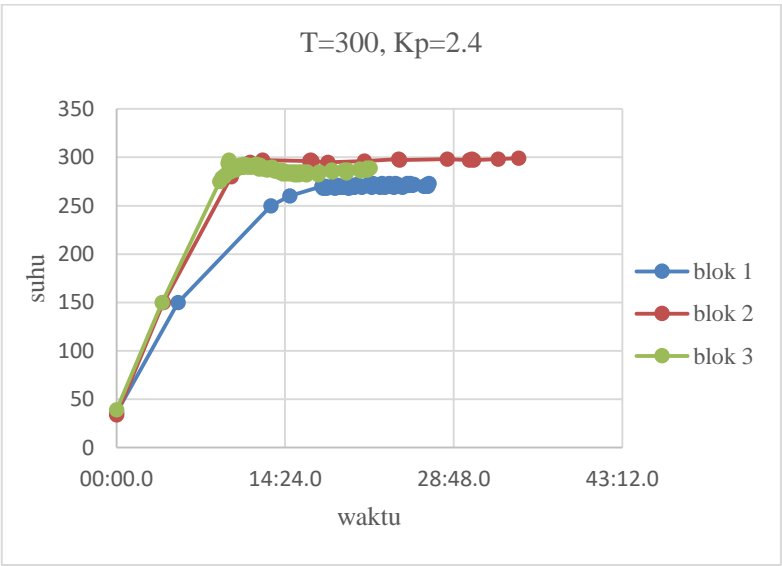
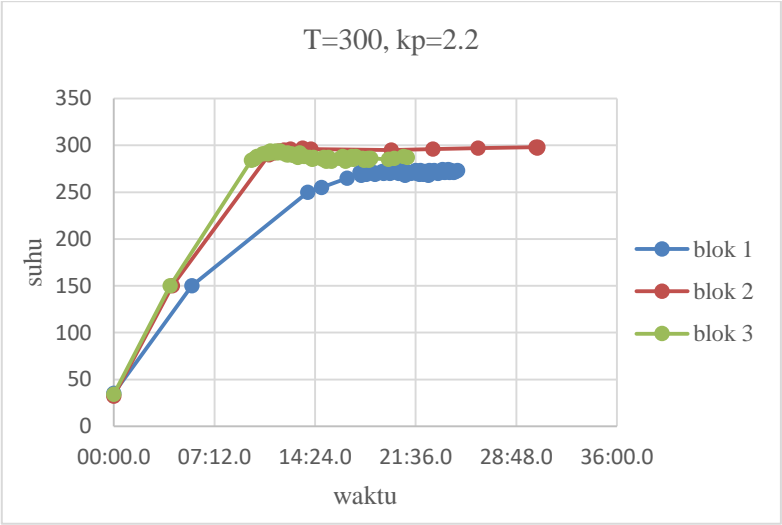


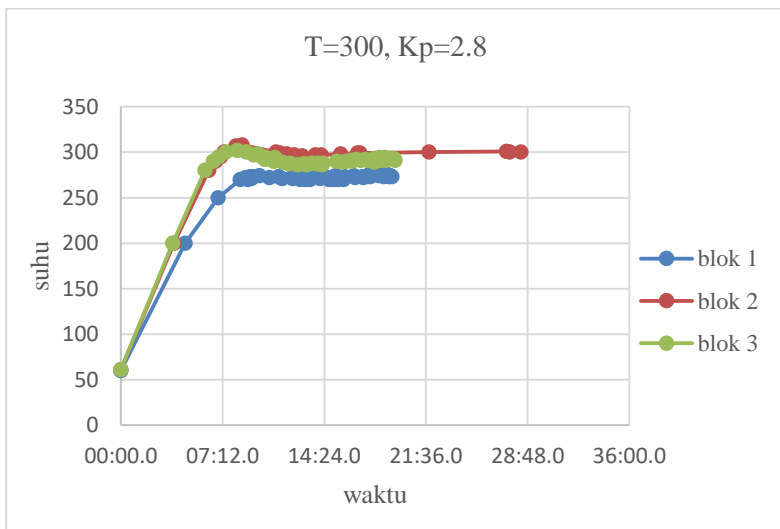
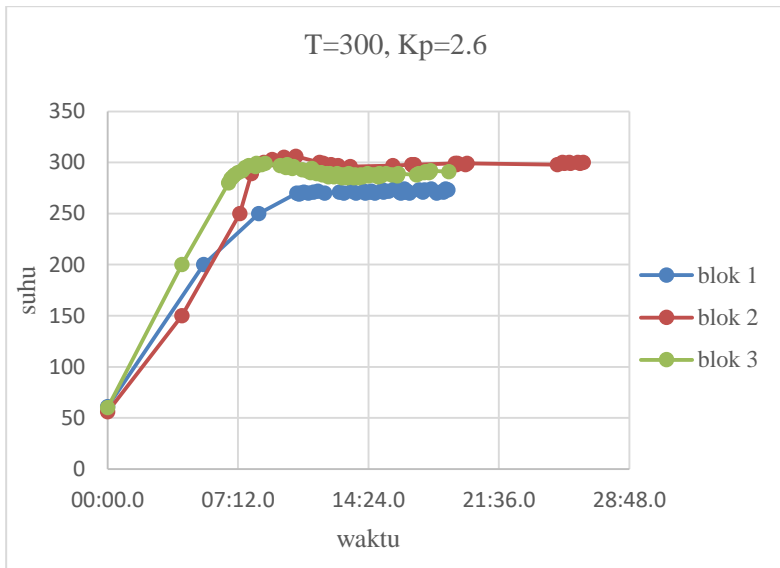


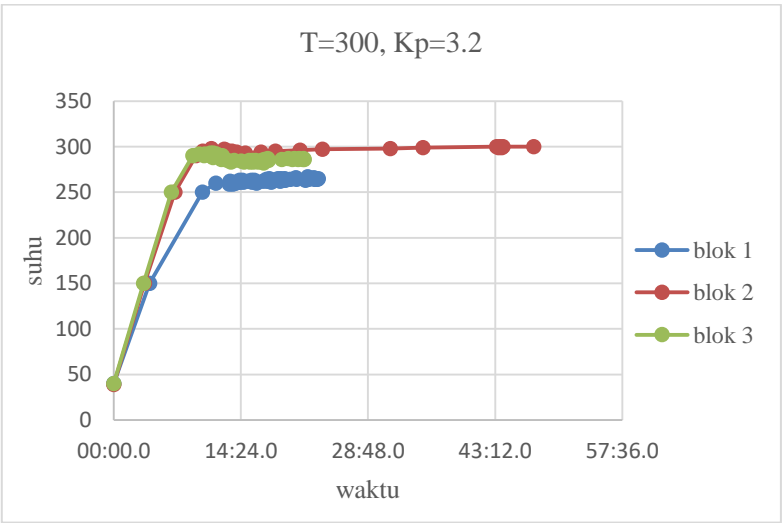
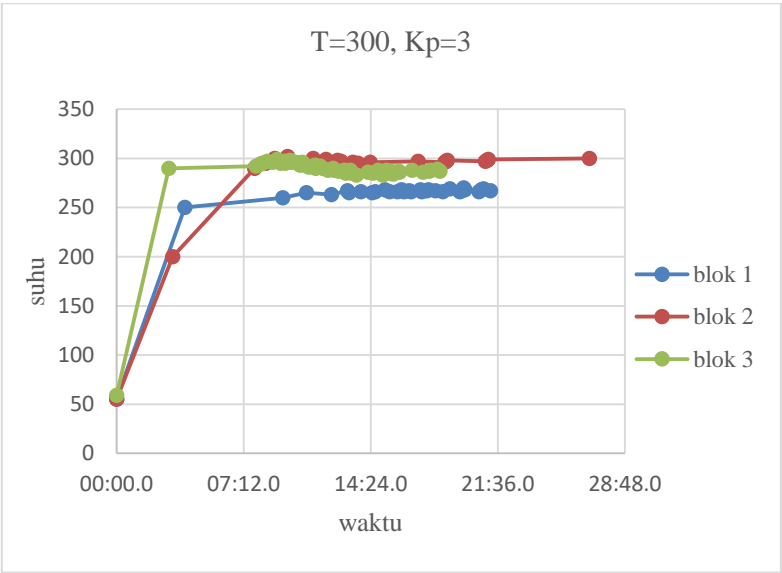


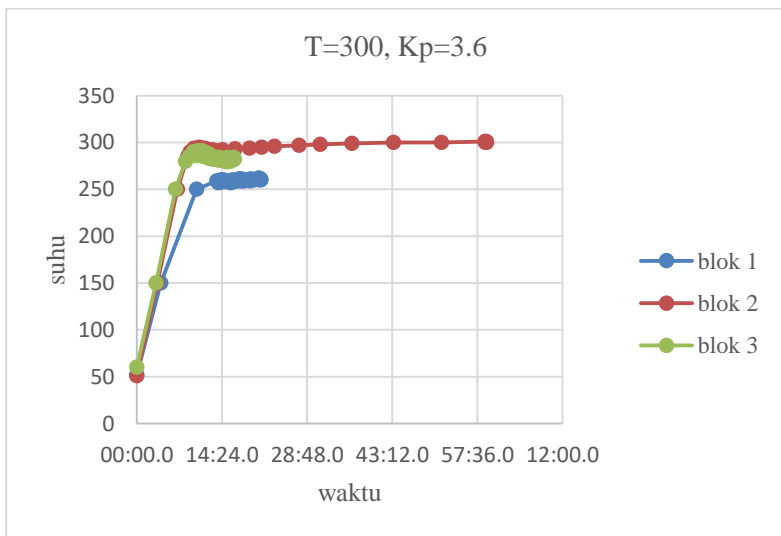
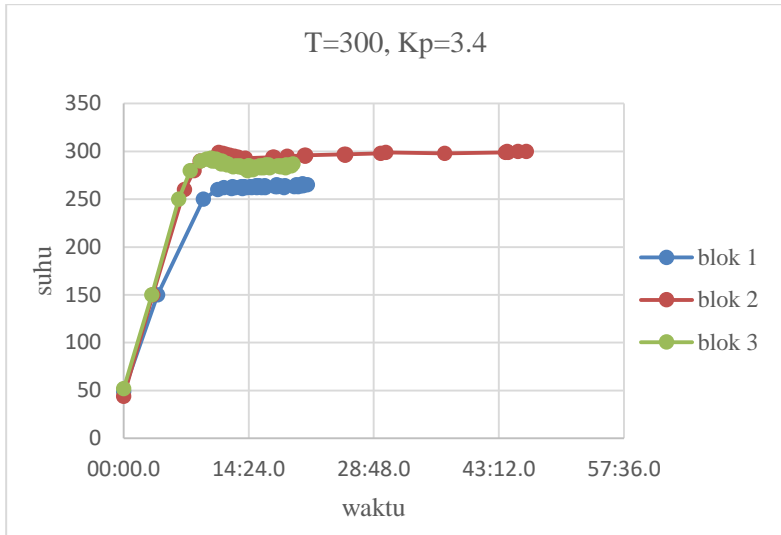




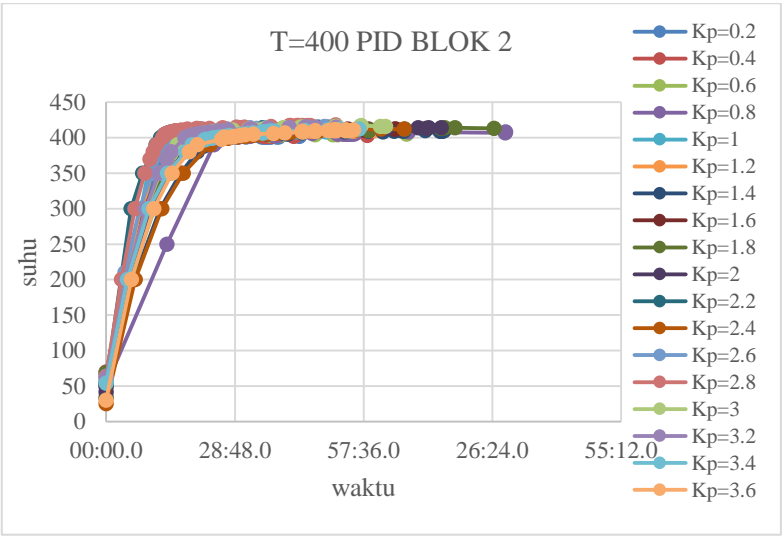
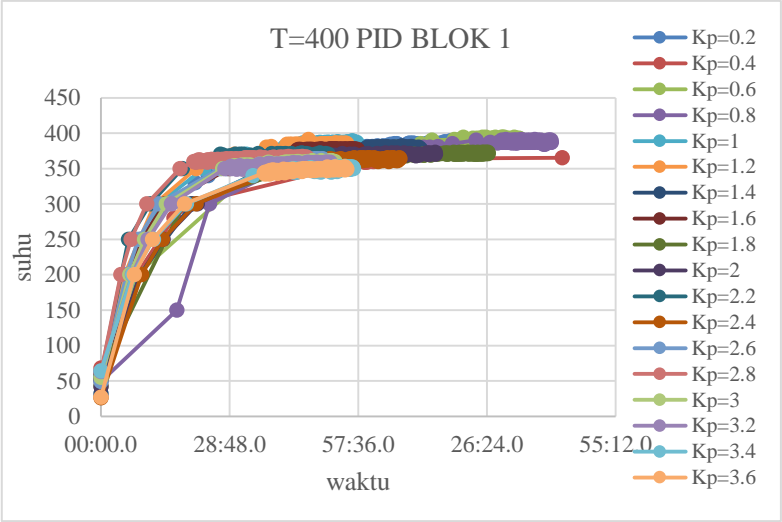


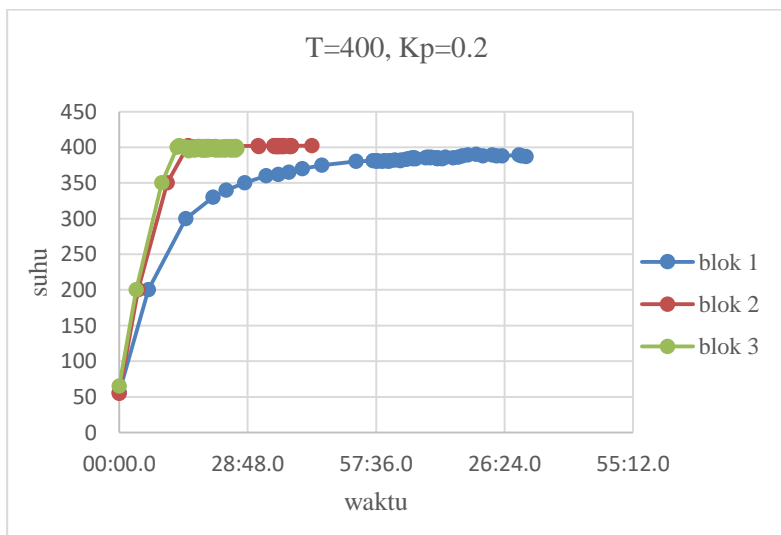
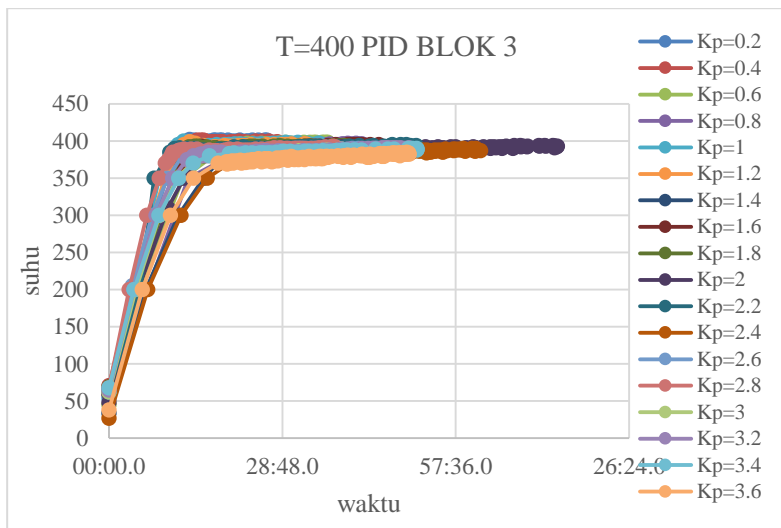


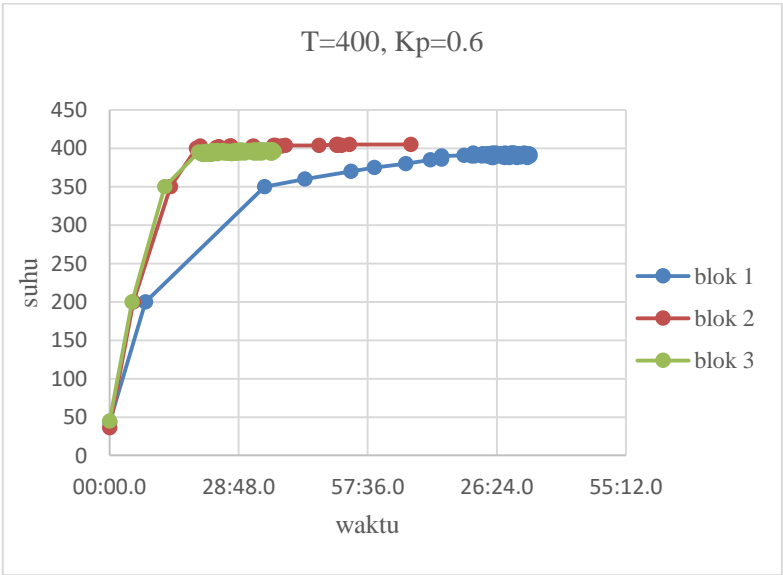
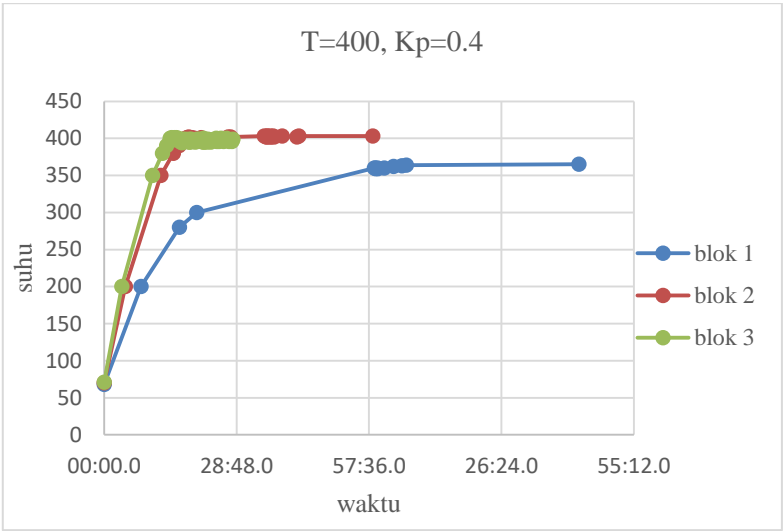


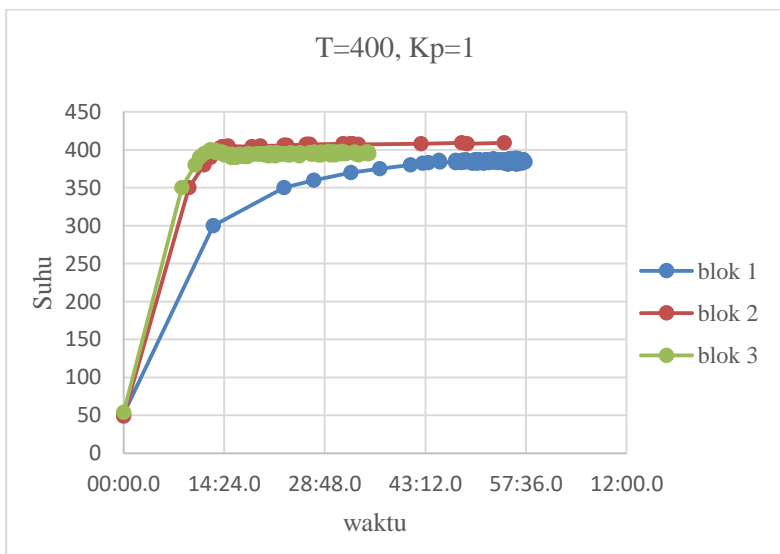
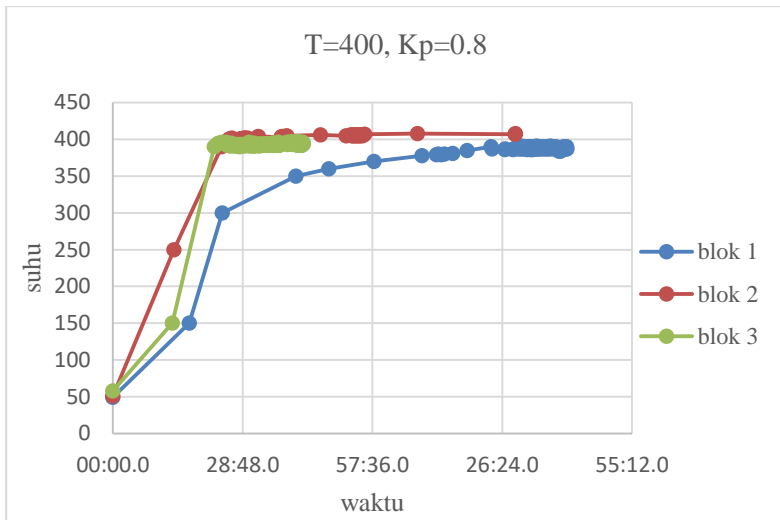


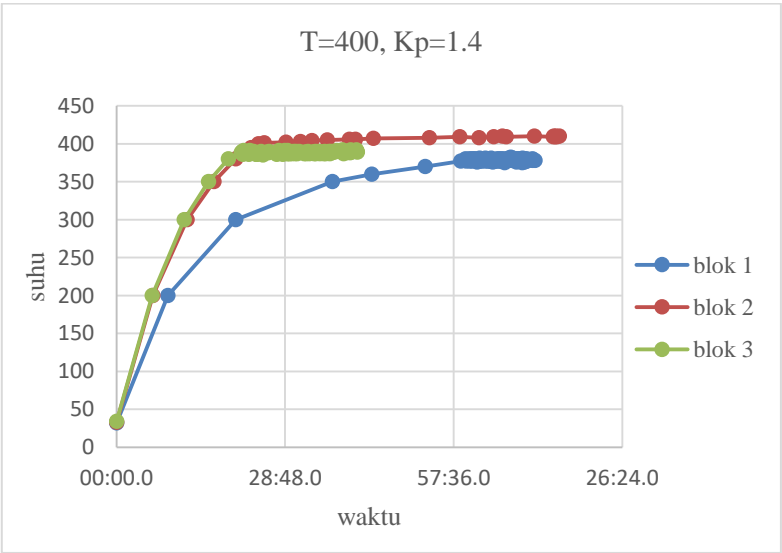
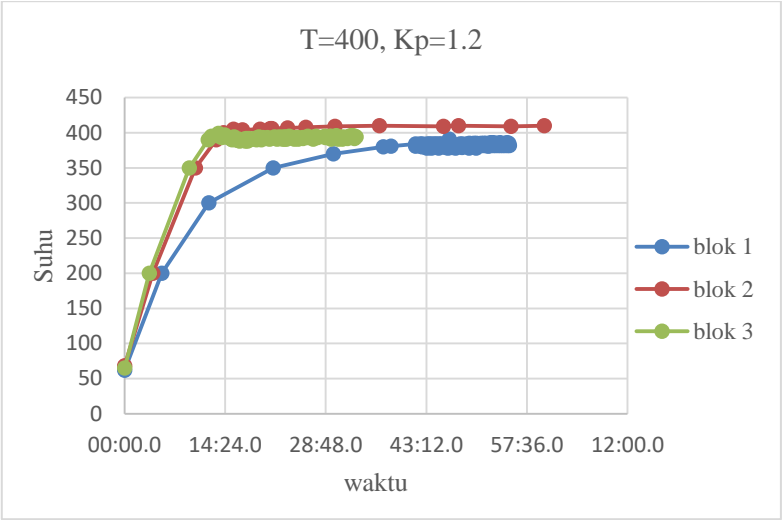
Lampiran 3 Variasi Kp T=400

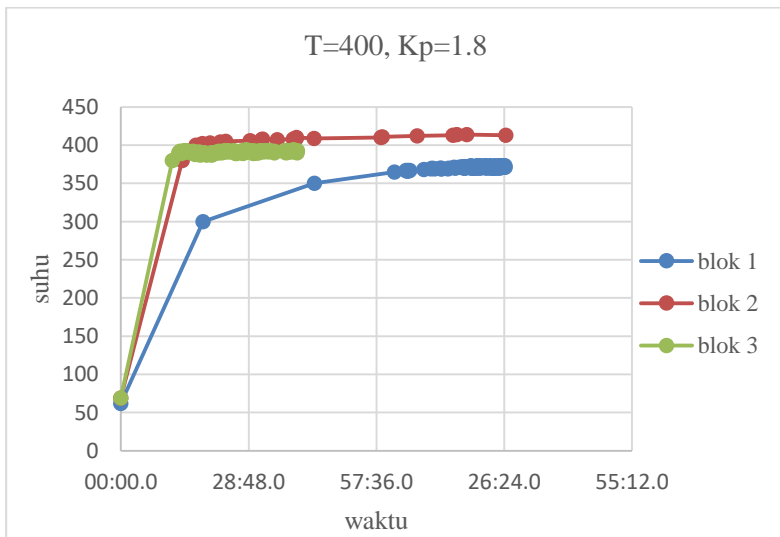
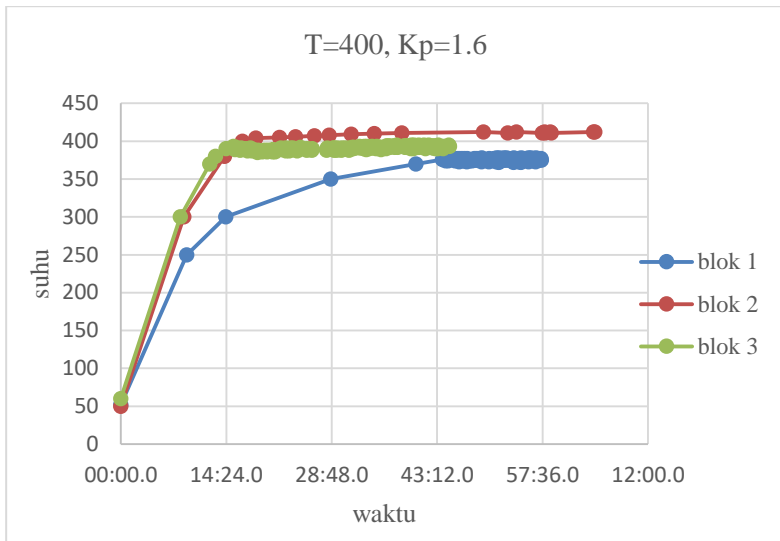


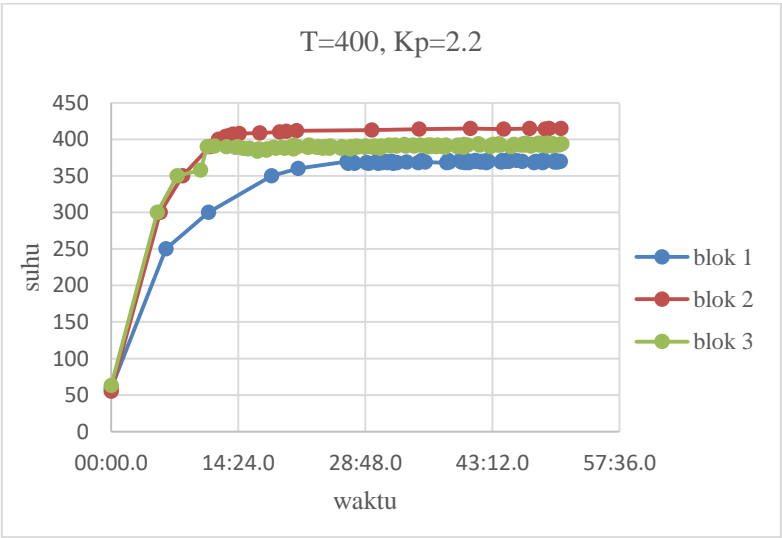
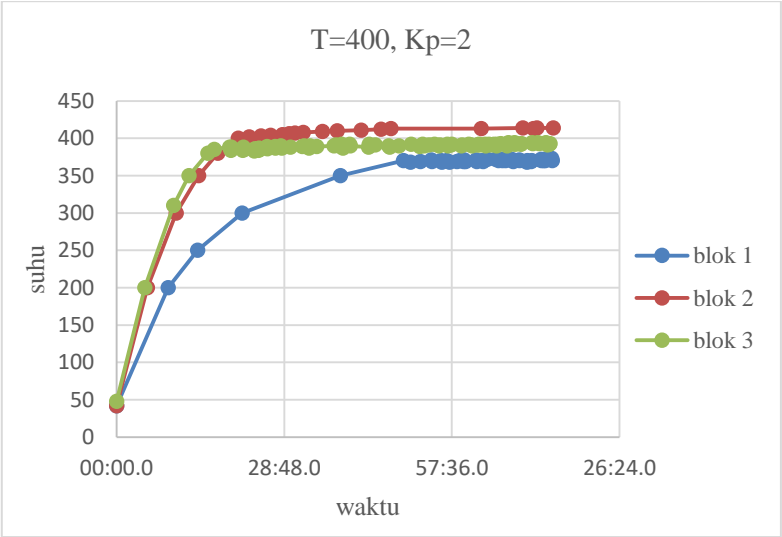


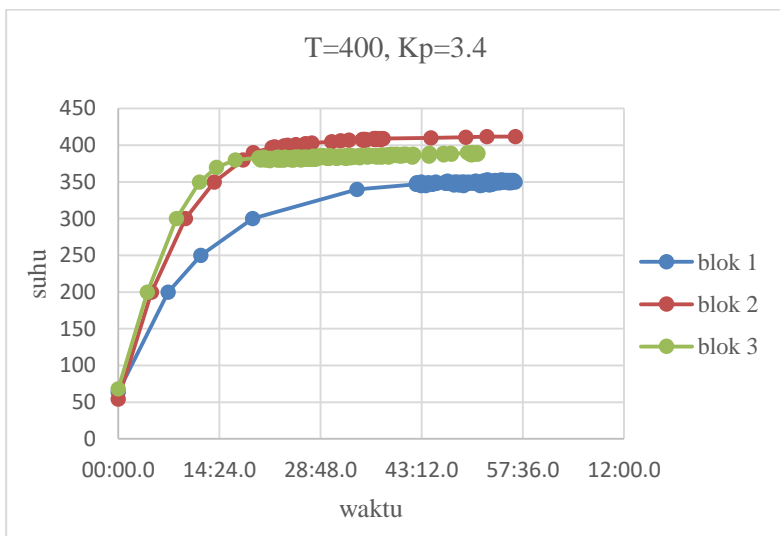
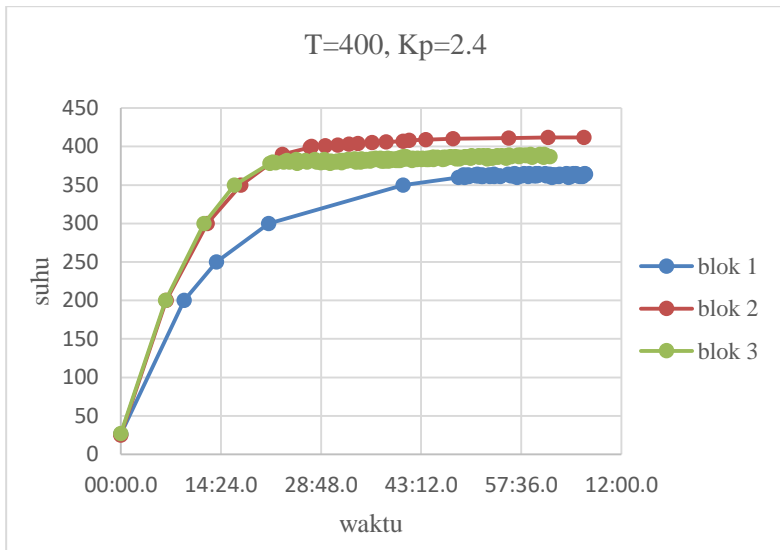


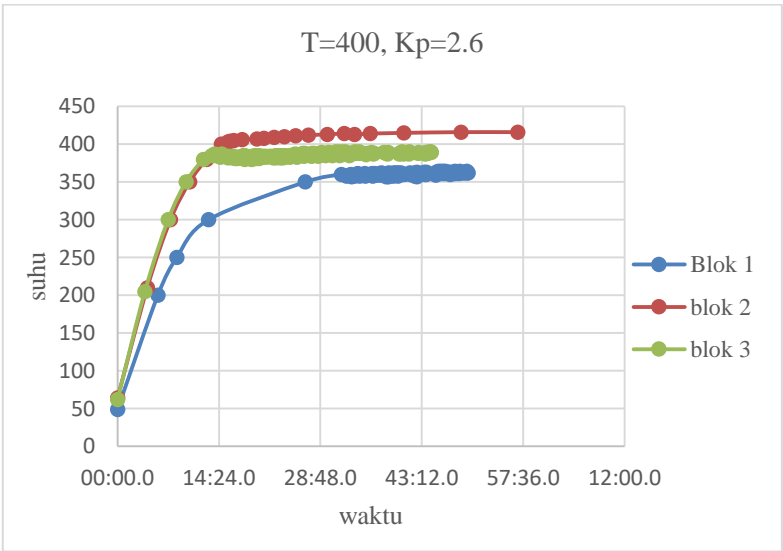
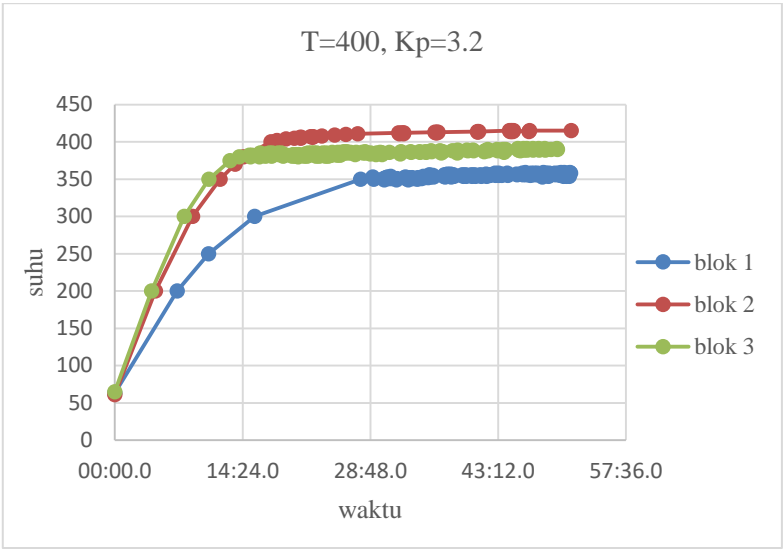


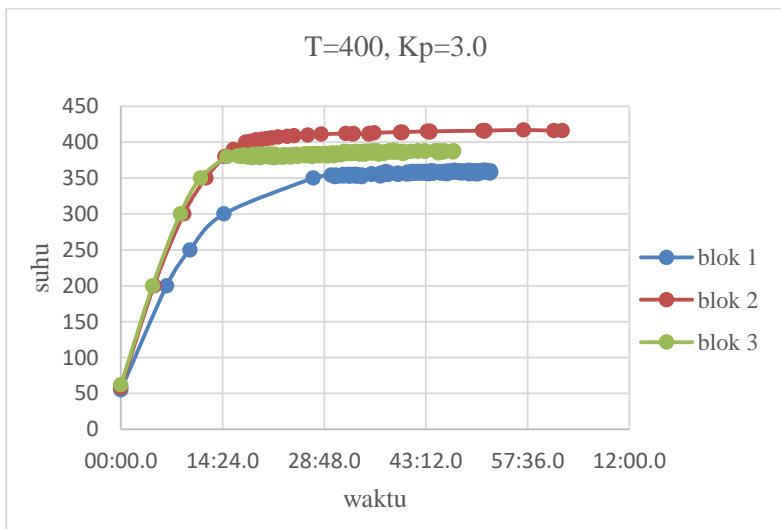
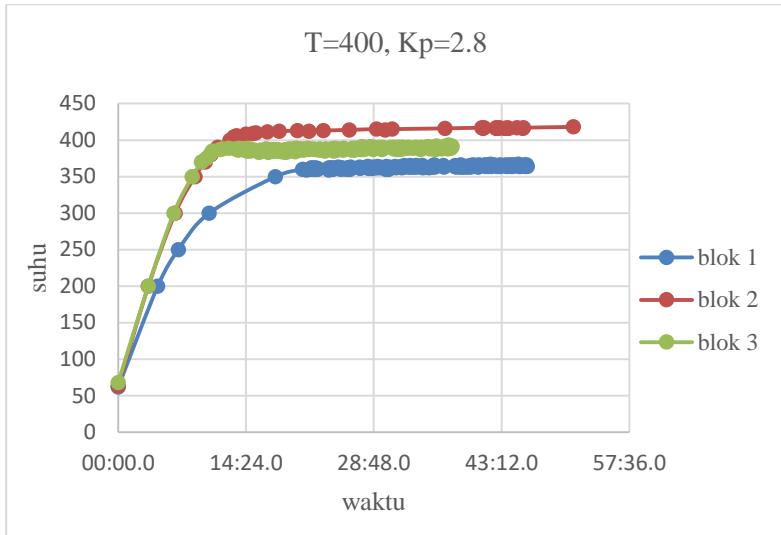


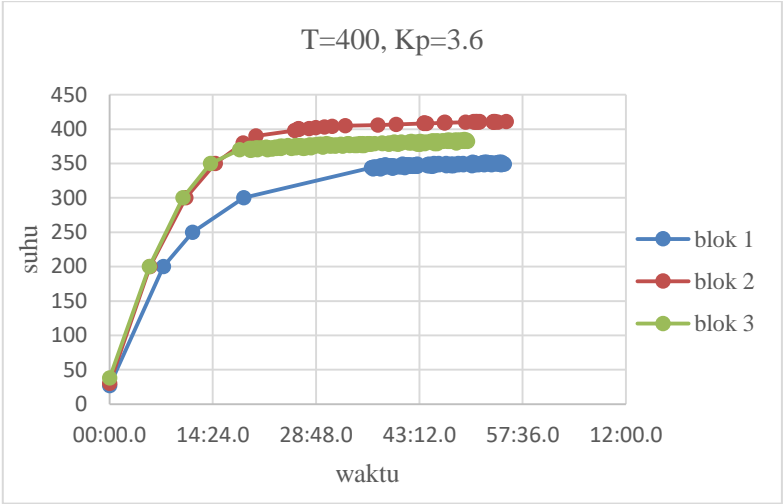




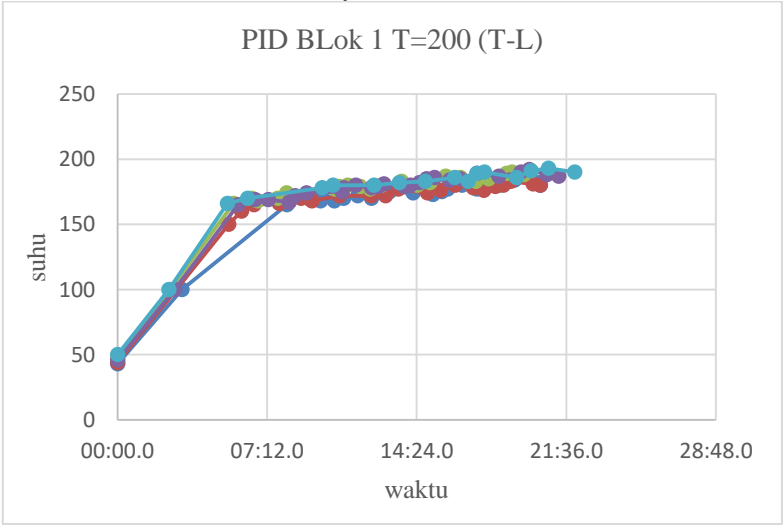


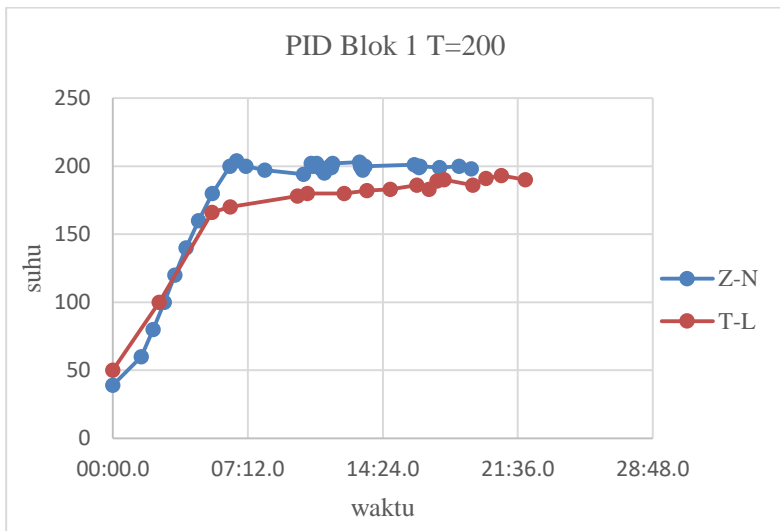
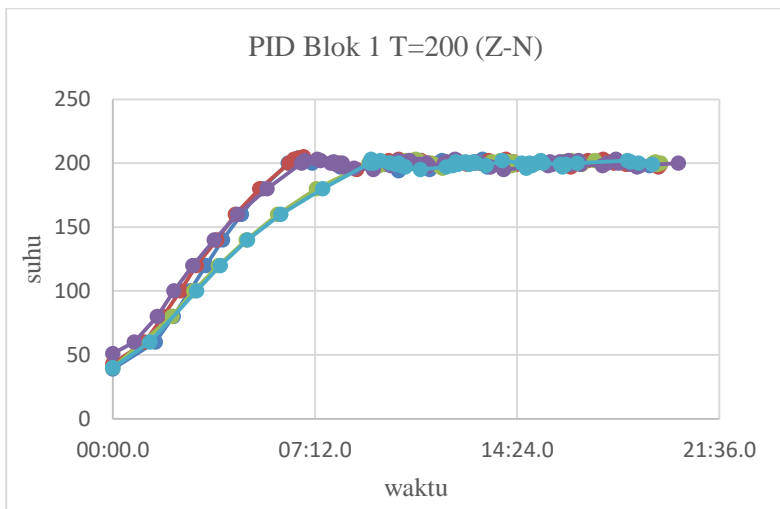


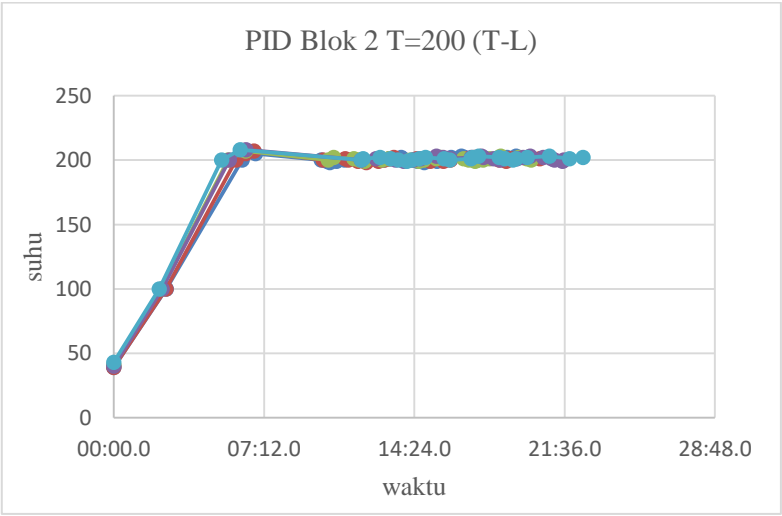
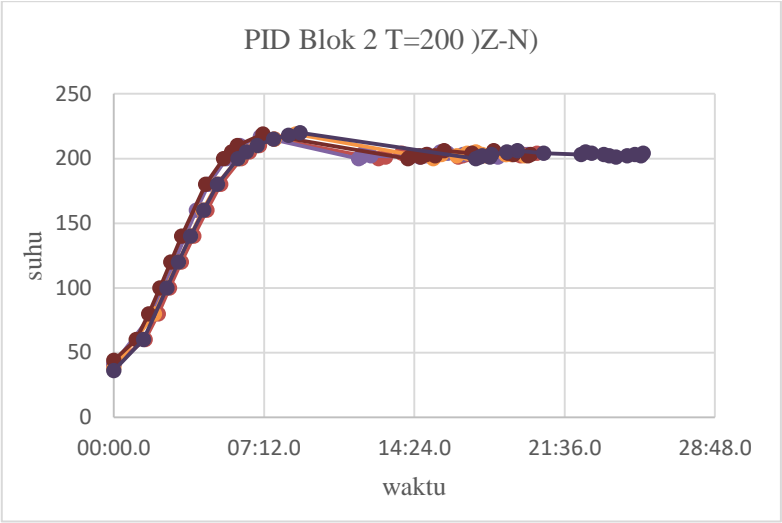


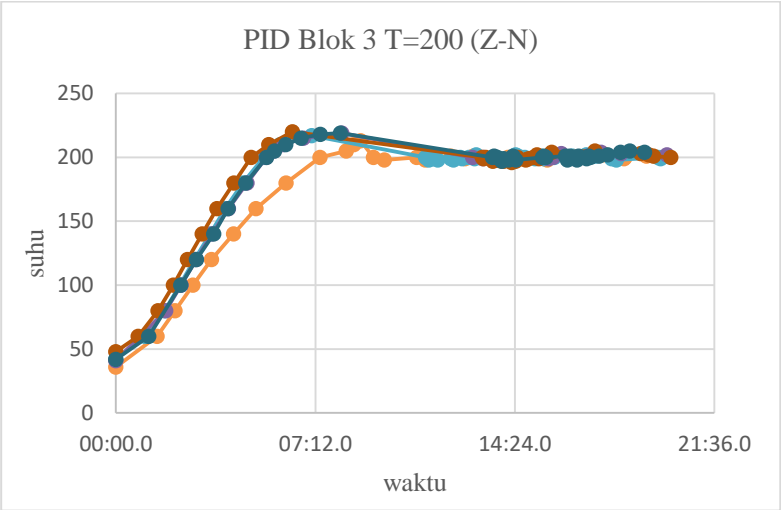
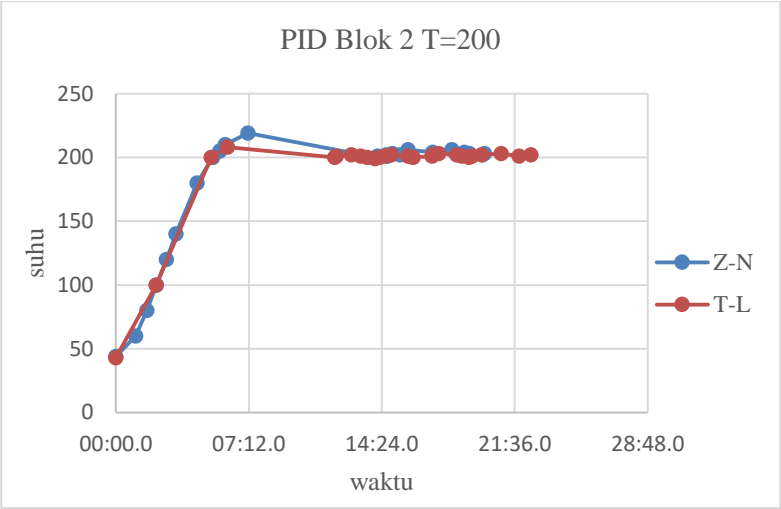


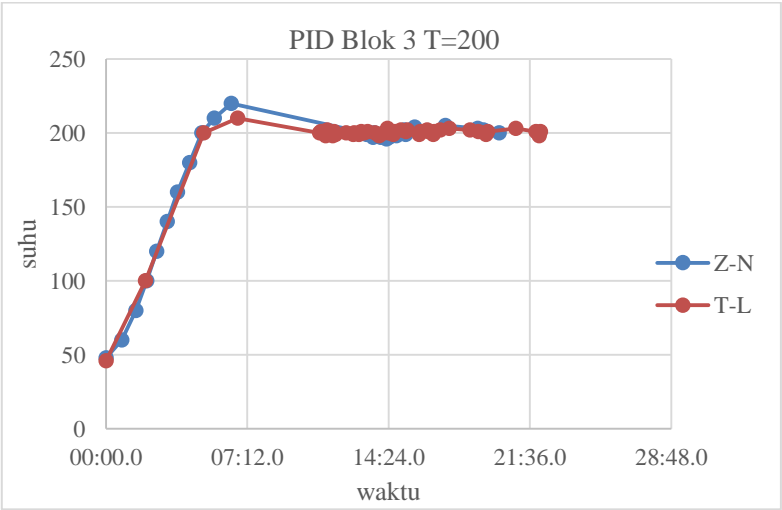
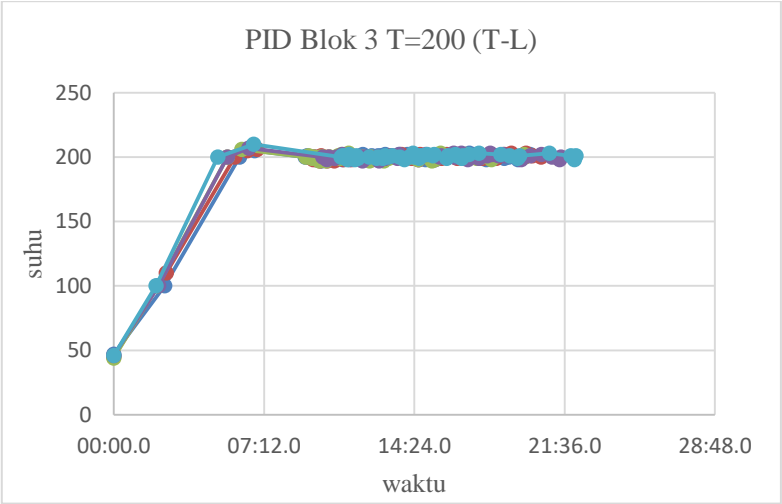
Lampiran 4 Pengujian Metode Ziegler-Nichols dan Metode Tyreus-Luyben $T=200$



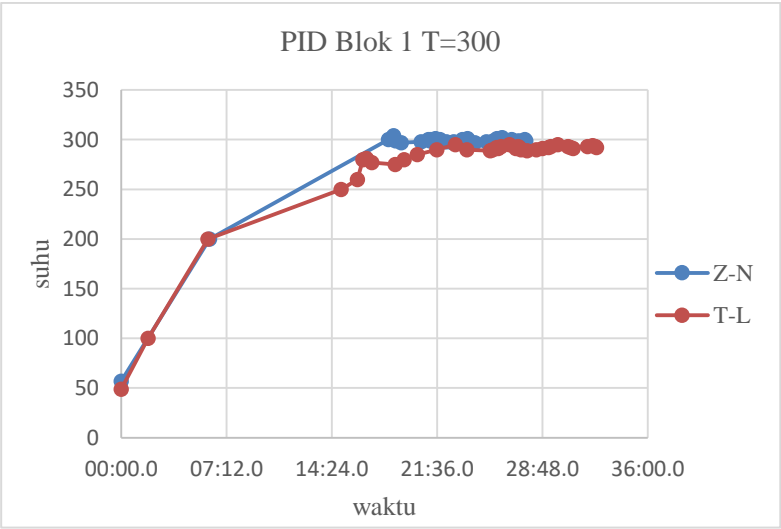
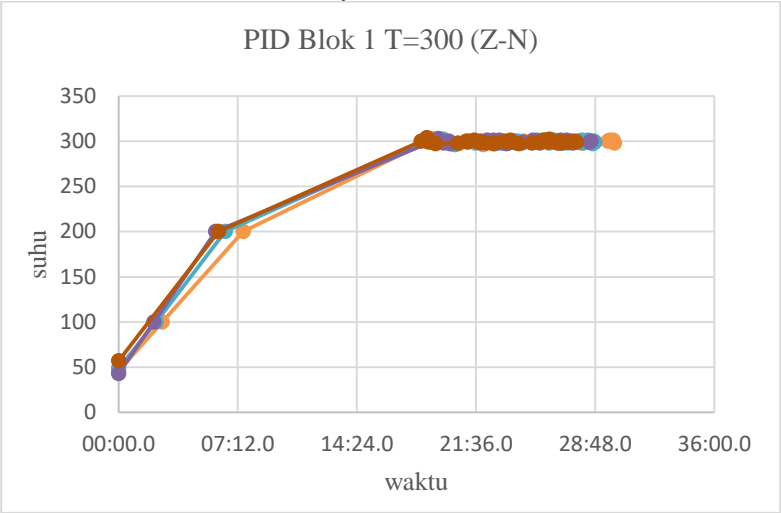


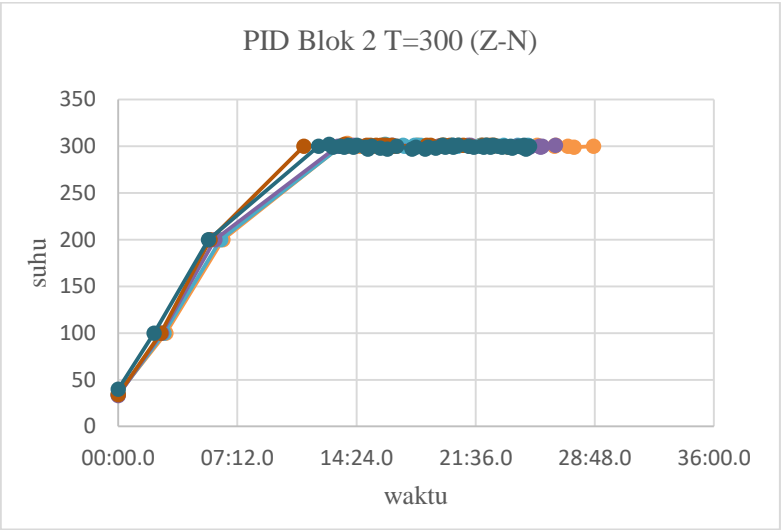
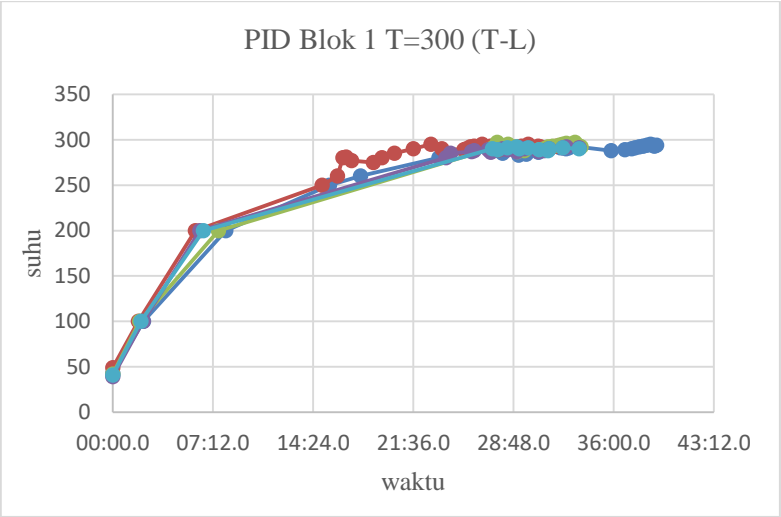


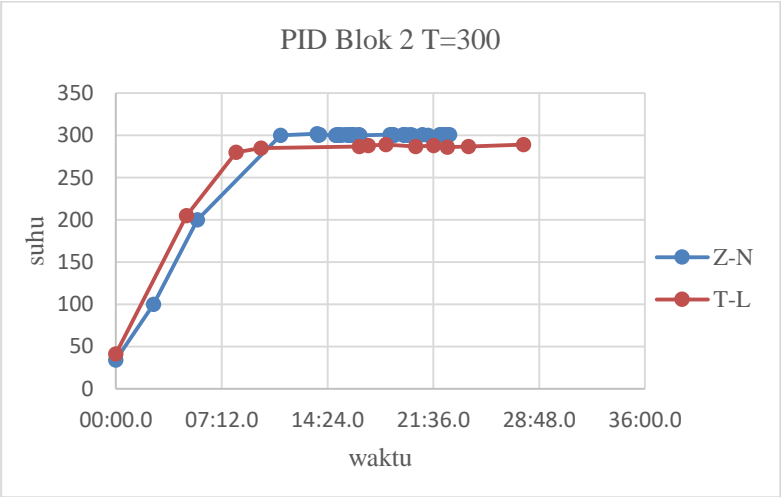
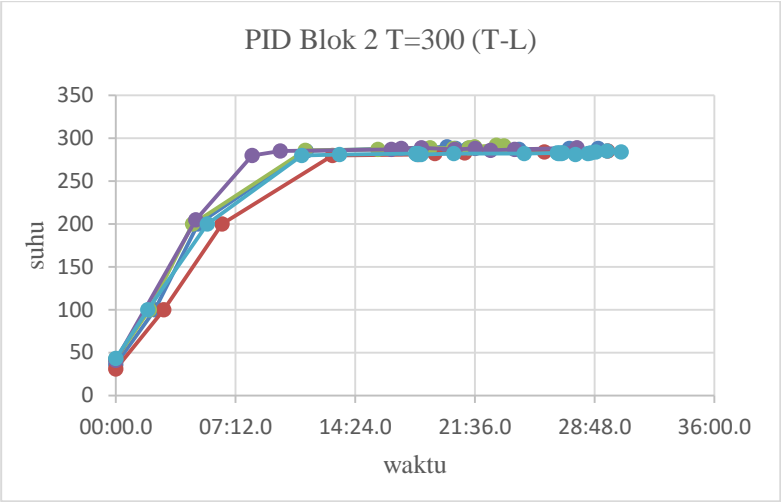


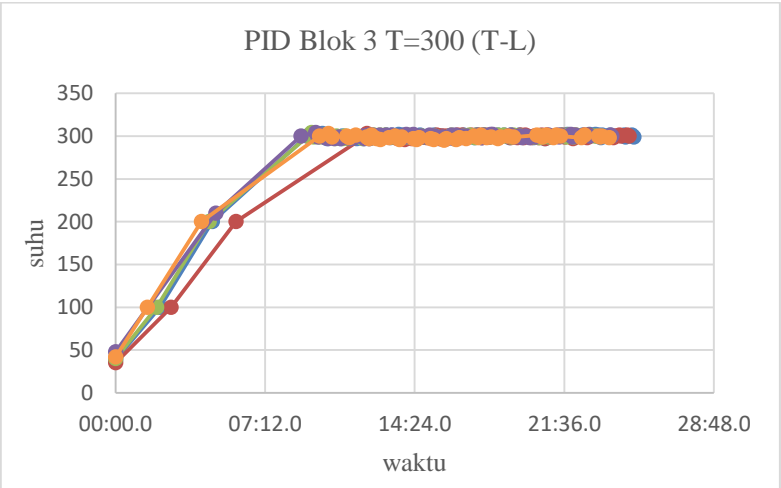
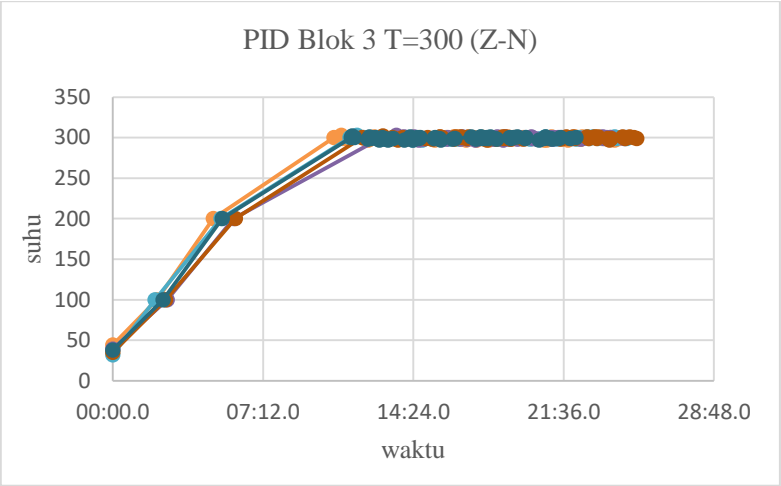


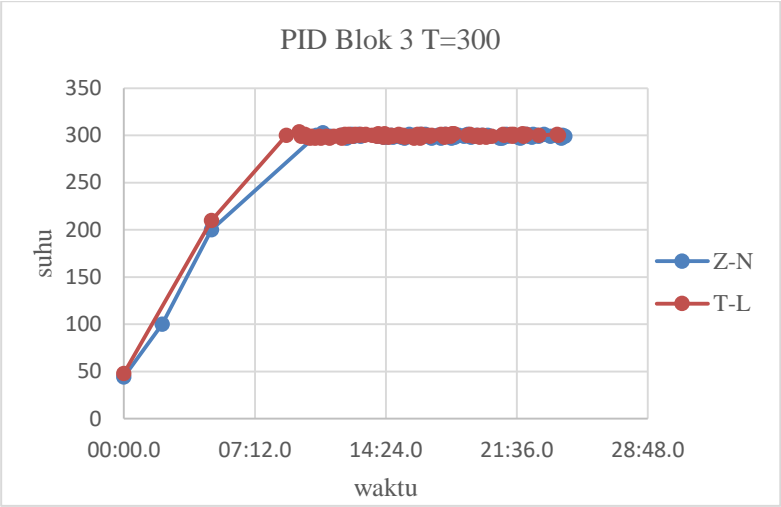
Lampiran 5 Pengujian Metode Ziegler-Nichols dan Metode Tyreus-Luyben T=300



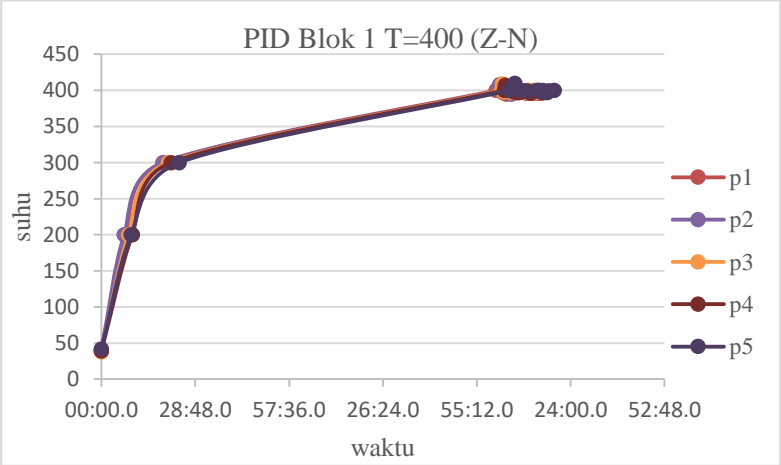


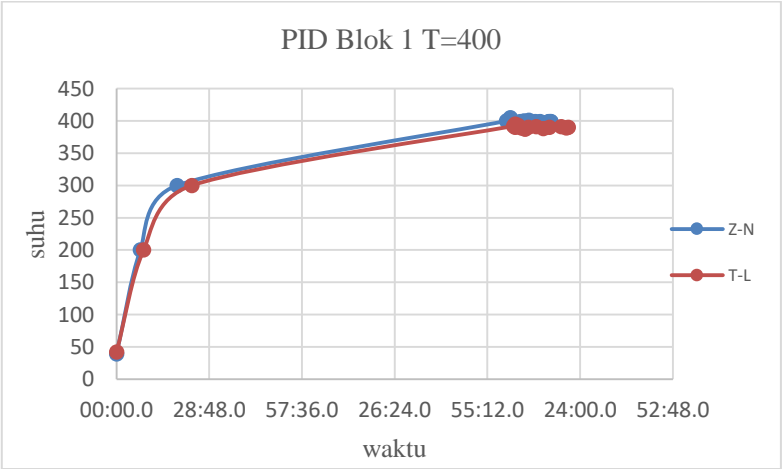
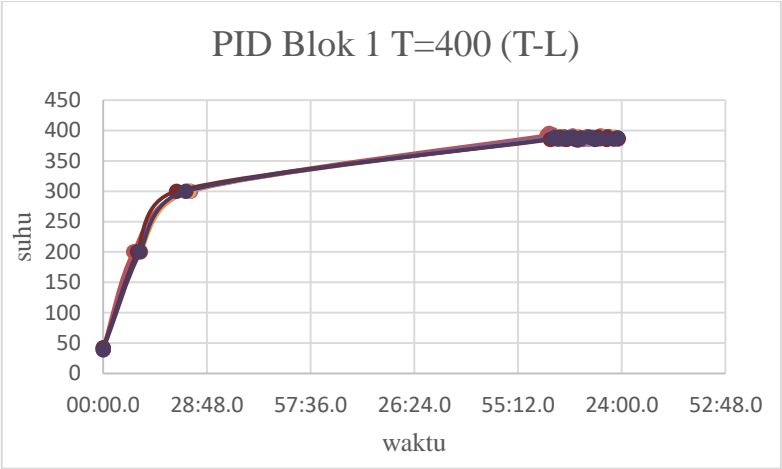


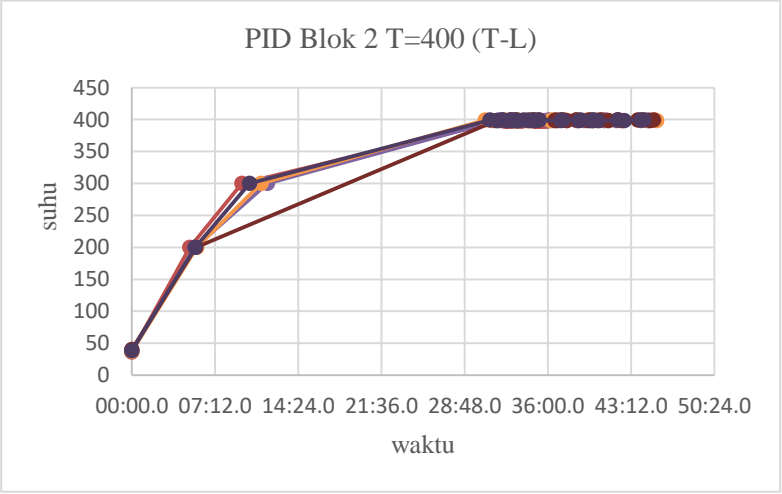
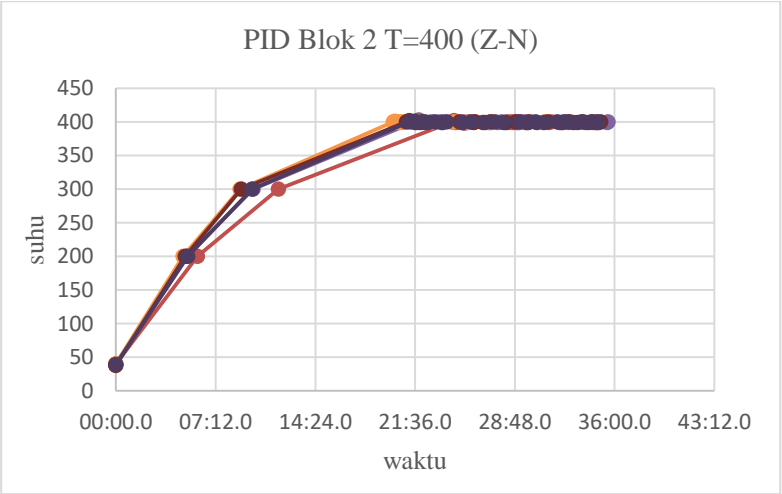


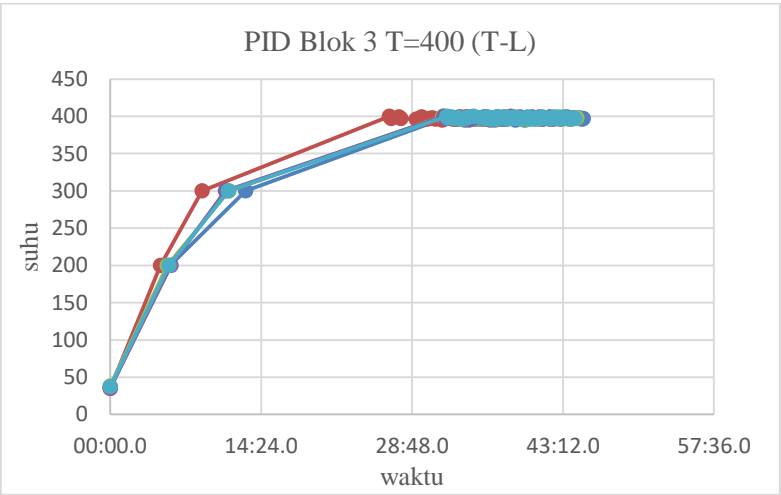
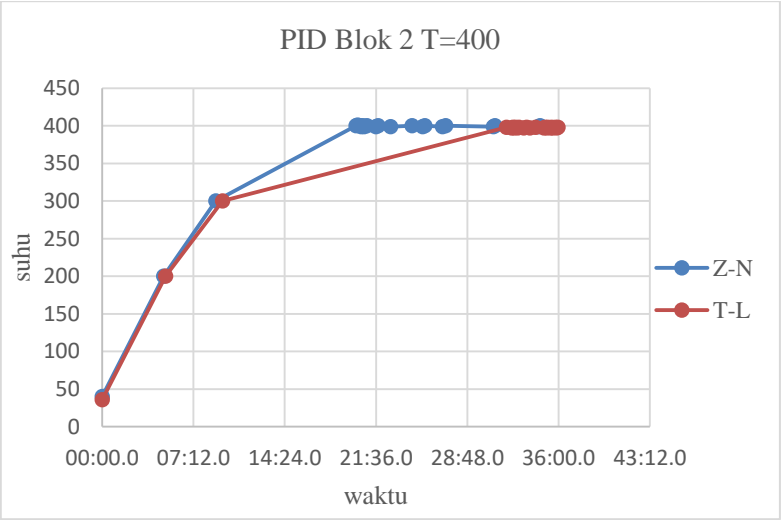


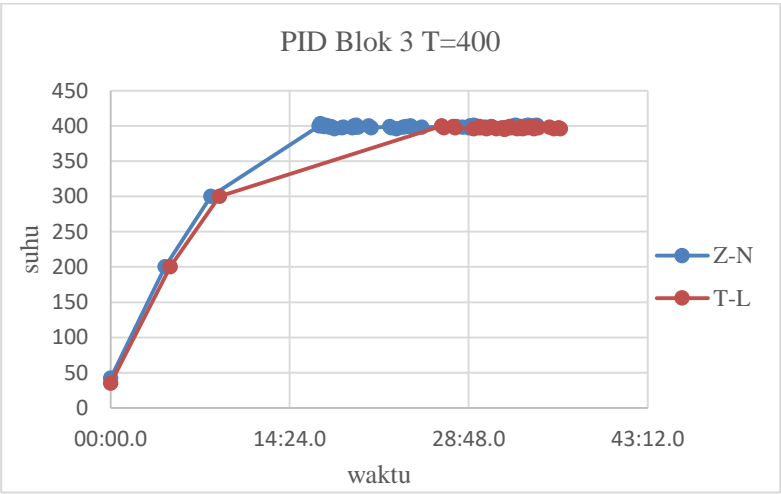
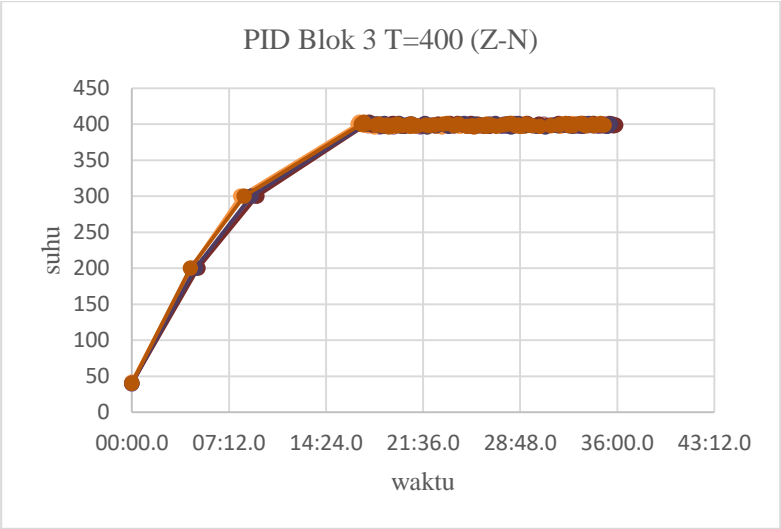
Lampiran 6 Pengujian Metode Ziegler-Nichols dan Metode Tyreus-Luyben T=400











“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Rahersa Putra yang ditakdirkan lahir di Padang pada tanggal 28 Januari di tahun 1996. Dilahirkan dari pasangan yang luar biasa dan menjadi sumber motivasi utama penulis dalam menjalani kehidupan dunia yang sangat keras ini, dengan kebanggaan penulis mempunyai ayah yang bernama Sahilal Alimin dan ibu yang bernama Hermawati Amsar. Penulis merupakan anak pertama dan mempunyai dua adik yang selalu memberi dukungan sampai sekarang ini. Penulis alhamdulillah sudah menyelesaikan pendidikan formal di SDN 07 Kp.Pinang Bungus Teluk Kabung, SMPN 1 Padang dan SMAN 6 Padang. Pendidikan terakhir penulis mengambil studi di Departemen Fisika FIA ITS bidang minat Instrumentasi Elektronika. Penulis menjalani kehidupan kampus menempa diri di Himpunan Mahasiswa Fisika ITS diawali menjadi Staff Departemen Minat dan Bakat 2014, selanjutnya menjadi Kepala Departemen Education and Student Prosperity dan Koordinator IC 2015. Penulis juga mendapat amanah ketika proposal PKM penulis didanai pada tahun 2016. Penulis mempunyai hobi di bidang olahraga khususnya Voli dan Sepakbola. Semoga dengan penulisan Tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan. Kritik dan saran bisa hubungi rahersaputra8@gmail.com.